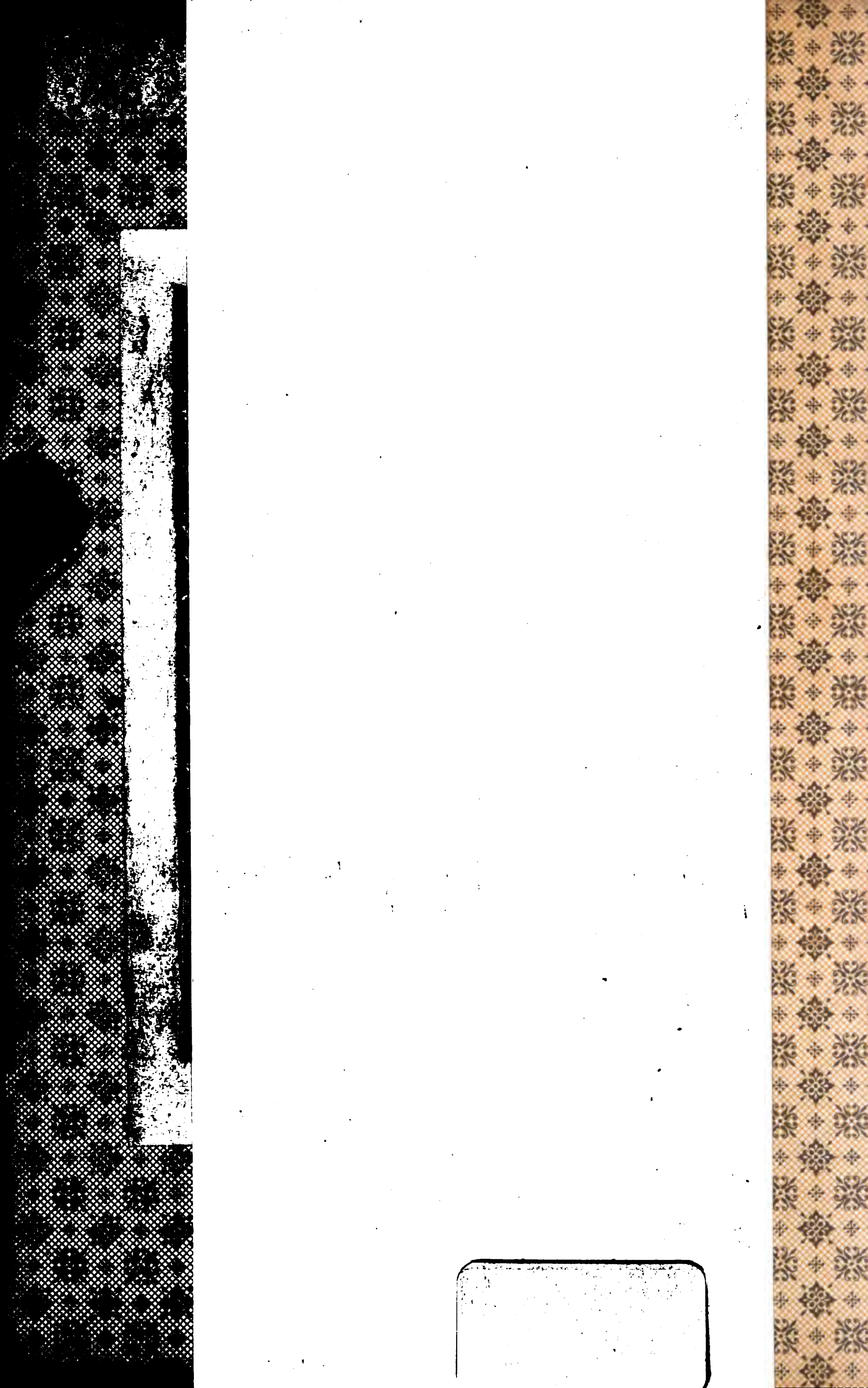
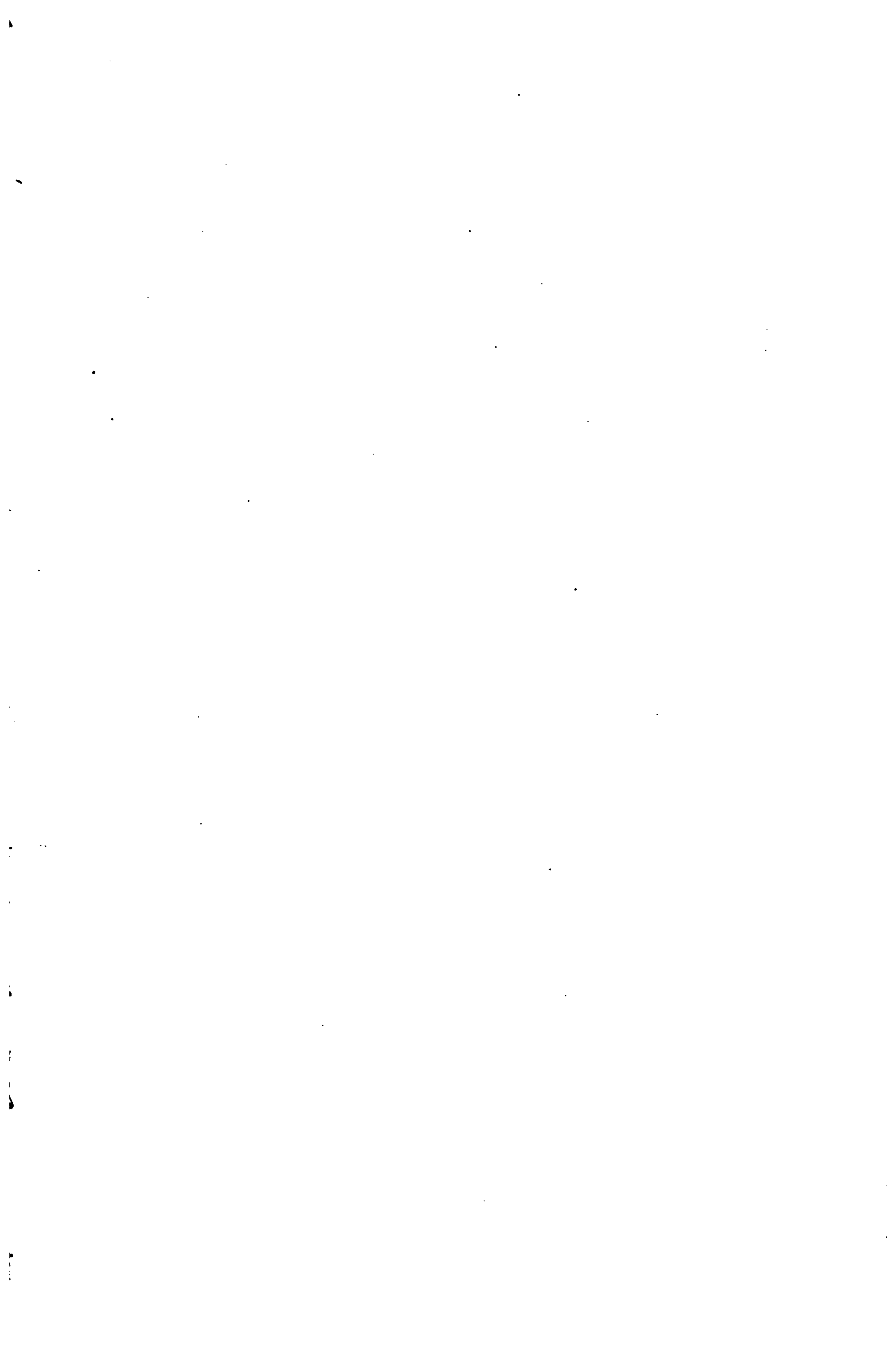
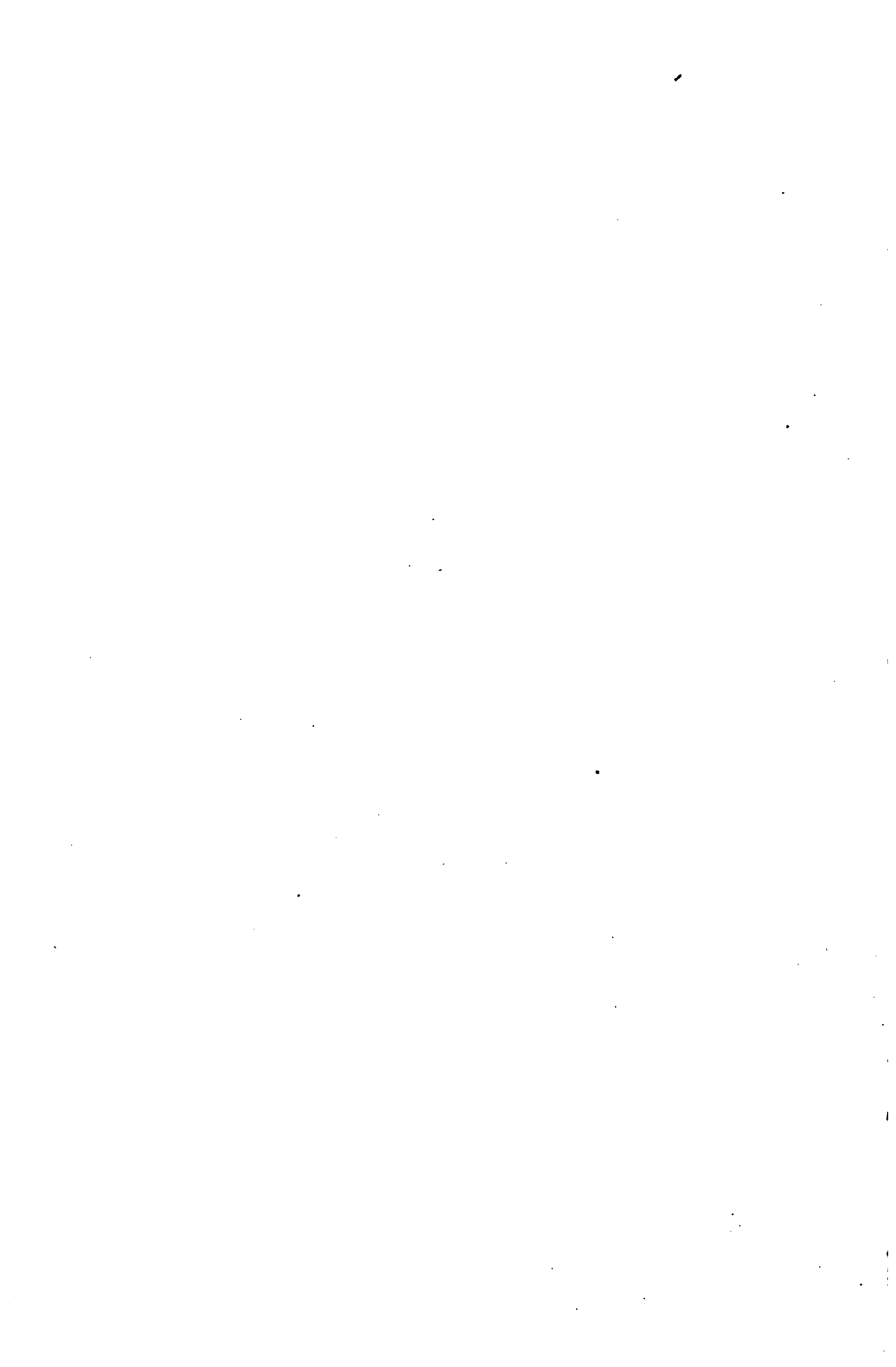
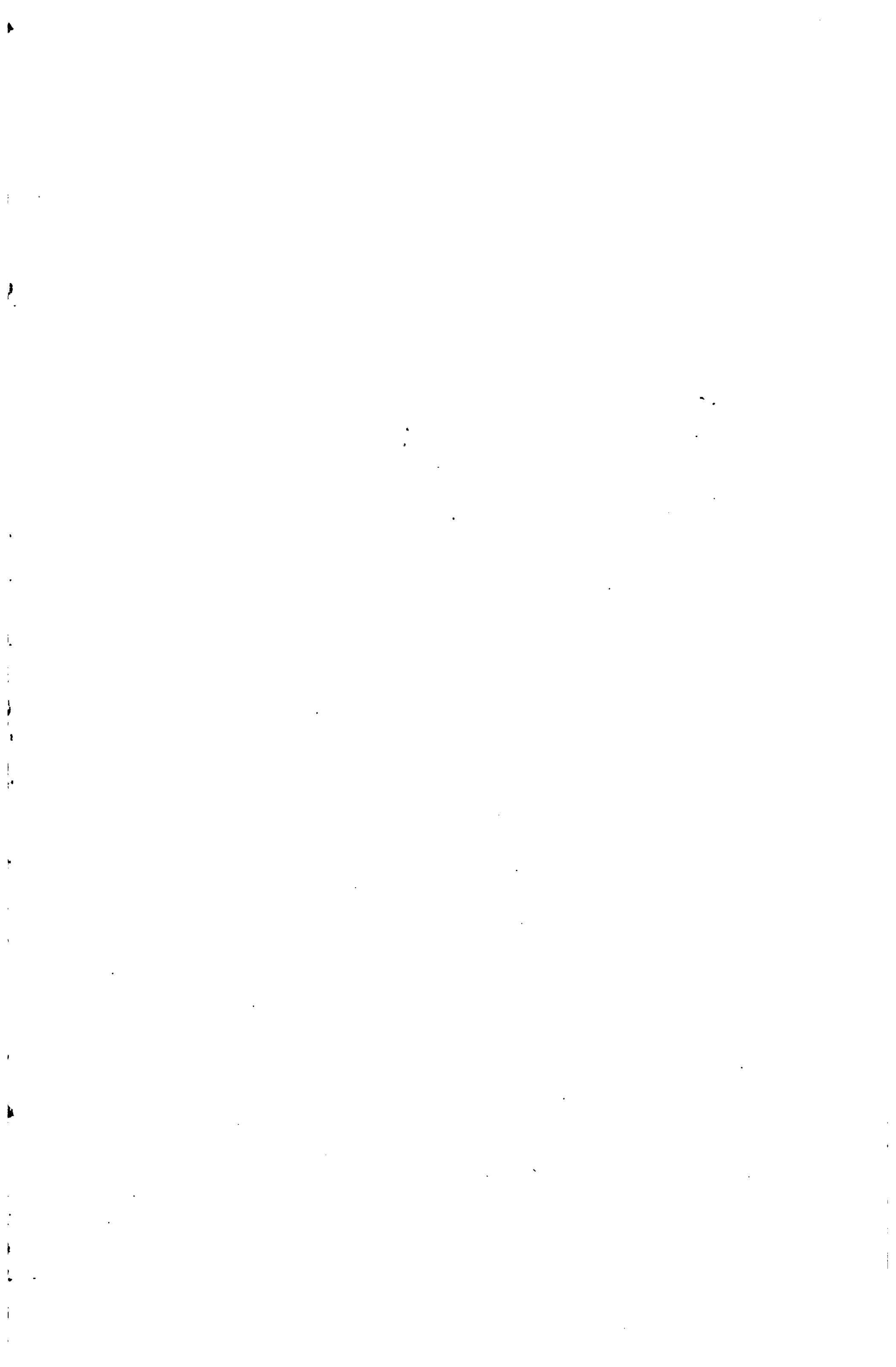
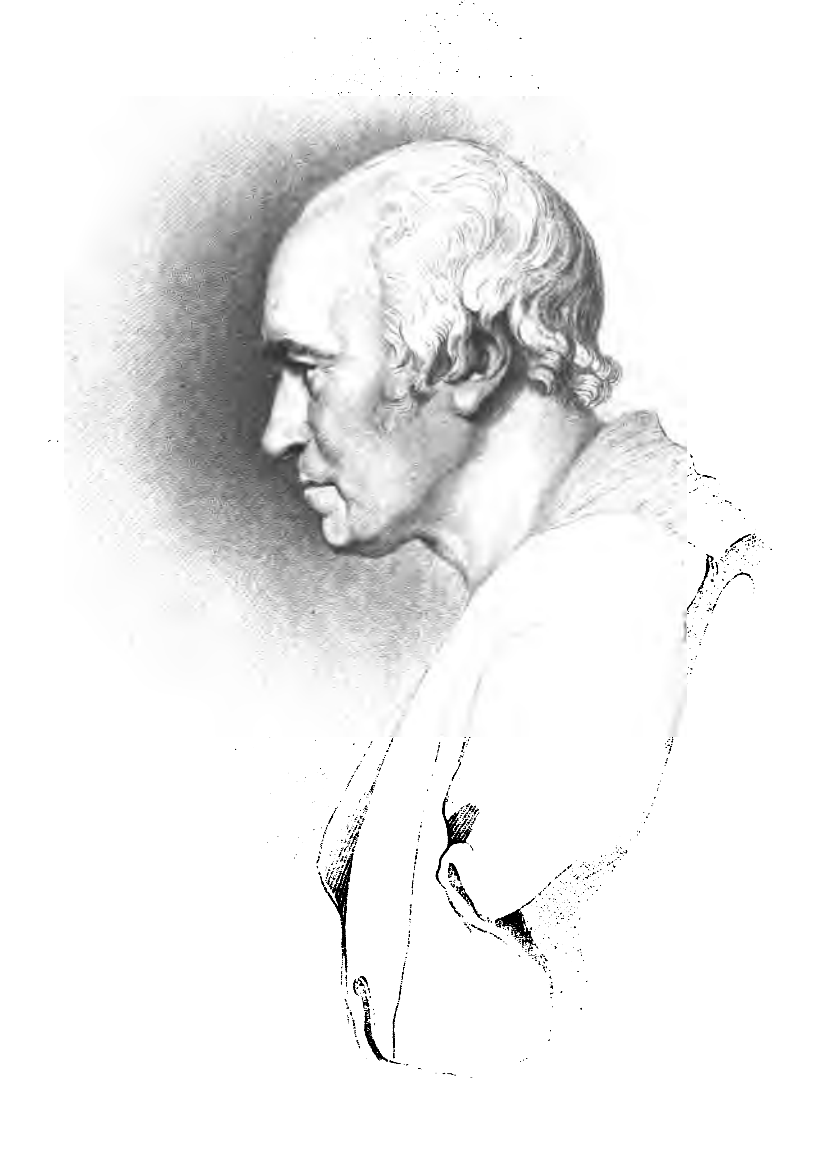












James Watt

James Watt

und die

Grundlagen des modernen Dampf[illegible]

[illegible] geschichtliche [illegible]

[illegible] 37. Hauptversammlung [illegible] Vereines Deu[illegible]

Ingenieure zu Stuttgart.

[illegible]

Ad. Ernst,

[illegible] an der K. Technischen Hochschule [illegible]

Mit dem [illegible] James Watt [illegible] 2 [illegible]



Berli[illegible]

Verlag von J[illegible]

18[illegible]



Mr. Orcutt
zur freundlichen Erinnerung
Stuttgart d. 21/2.97.
Der Verfasser
A. Ernst

James Watt

und die

Grundlagen des modernen Dampfmaschinenbaues.

Eine geschichtliche Studie,

vorgetragen in der 37. Hauptversammlung des Vereines Deutscher Ingenieure zu Stuttgart.

Von

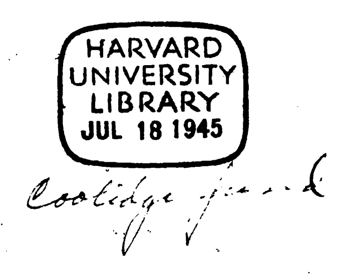
Ad. Ernst,

Professor des Maschinen-Ingenieurwesens an der K. Technischen Hochschule Stuttgart.

Mit dem Bildnis von James Watt und 27 Textfiguren.



Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1897.



Erweiterter Sonderabdruck
aus der Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure. 1896.

Druck von H. S. Hermann in Berlin.

Vorwort.

Noch heute ist in den Kreisen der sogenannten gelehrten Berufsstände die Anschauung vielfach vertreten, dass die grossen Erfindungen unserer modernen Kultur meist nur glücklichen Zufallsgedanken entspringen und ihren Urheber über Nacht zum begüterten Mann machen. Gut gemeinte, aber leichtfertig abgefasste populäre technische Schriften haben nicht wenig zu dieser irrigen Vorstellung beigetragen, welche die Leistungen der Technik, trotz ihrer weltumgestaltenden Wirkungen hinsichtlich ihres geistigen und wissenschaftlichen Wertes von vornherein mit Geringschätzung betrachtet und dazu verleitet, dass junge Leute, die auf dem Wege einer regelrechten Schulbildung Schiffbruch leiden, glauben, im Schosse der Technik seien für sie noch mühelos Schätze zu heben. Während das Ziel solcher Schriften dahin gerichtet sein sollte, der heranwachsenden Jugend unserer gebildeten Stände und auch den erwachsenen Mitgliedern nichttechnischer Berufskreise die Erfolge und den Entwicklungsgang unserer heutigen Industrie, welche das ganze Volksleben beherrscht, in allgemein verständlicher Form, aber wahrheitsgetreu vor Augen zu führen, schlagen

sie zum Teil statt dessen einen oberflächlichen, anekdotenhaften Ton an. Zu den Erzählungen dieser Art gehört die Darstellung, dass James Watt schon als Knabe am Theetisch seiner Tante die Grundgedanken zu seiner Dampfmaschine gefasst habe, als er die Vorgänge der Dampfbildung in dem brodelnden Kessel, das Lüften des Deckels und die Kondensation des ausströmenden Dampfes beobachtete. Manchem wird gleich mir noch aus seiner Jugendzeit die Illustration zu dieser Erzählung vorschweben, der Knabe auf dem Stuhle knieend, mit dem Deckel des Theekessels spielend. Solche Eindrücke haften, und es ist entschuldbar, wenn Männer, deren Thätigkeit auf einem ganz anderen Gebiete liegt, auch noch in reifen Jahren unter dem Eindruck einer Lektüre stehen, die ihnen frühzeitig zur Belehrung in die Hand gegeben wurde, ohne je durch die sonstige Schulbildung oder durch das spätere Berufsstudium eine Berichtigung zu erfahren. Der Missstimmung, welche mich ergriffen hat, so oft ich im Leben auf grund dieser oder ähnlicher Eindrücke schiefen Urteilen über die Lebensaufgaben des Ingenieurs begegnet bin, verdankt die nachstehende geschichtliche Studie ihre Entstehung, und wenn ich im Laufe dieser Arbeit zu Ergebnissen gelangte, die selbst in technischen Kreisen weniger bekannt sind, als sie sein sollten, so hoffe ich, dass nicht nur in Laienkreisen durch die Mitteilung der mühevollen, rastlosen Arbeiten Watt's der Wahn gründlich zerstört wird, es genüge auf technischem Gebiete die Spielerei eines Knaben, um die Wende einer Kulturepoche herbeizuführen, sondern dass auch Fachgenossen die Darlegungen

nicht ohne Interesse verfolgen werden. Man kann sich kaum einen schrofferen Gegensatz denken, als den zwischen der Fabel von der Erfindung der Dampfmaschine und ihrer wirklichen Entstehungsgeschichte. Die 37. Hauptversammlung des Vereins deutscher Ingenieure zu Stuttgart bot mir Gelegenheit, die Frage in wissenschaftlicher Form zu behandeln. Die nachstehende Schrift enthält diesen Vortrag mit den Quellennachweisen und den Ergänzungen, welche ich für die kürzlich erfolgte Veröffentlichung desselben in der Zeitschrift des Vereins für wünschenswert hielt. Der vorliegende Neudruck beabsichtigt, die Frucht der Studien einem weiteren Leserkreise zugänglich zu machen.

Das Bildnis Watt's ist den Muirhead'schen Werken entnommen, welche zuerst in einer dreibändigen Ausgabe unter dem Titel: „The mechanical inventions of James Watt“ London 1854 und bald darauf in gekürzter Form in einem Bande unter der Bezeichnung „Life of James Watt“ — zweite Auflage, London 1859 — erschienen sind. Das Original ist von Edward Finden nach einer von Chantrey ausgeführten Büste gezeichnet, soll aber nach dem Urteil des jüngeren Watt die Chantrey'sche Auffassung seines Vaters noch an Aehnlichkeit übertreffen, und gilt als die beste Wiedergabe der äusseren Erscheinung des grossen Mannes, dem die nachfolgenden Zeilen gewidmet sind.

Stuttgart, den 12. September 1896.

AD. ERNST.

In der Eigenart des Menschen begründet liegt das Bedürfnis, aus der Gegenwart in die Vergangenheit zurückzublicken, um sich Rechenschaft zu geben von der allmählichen Entwicklung und Gestaltung der Verhältnisse, welche die Grundlagen des eigenen Schaffens und Handelns bilden. Aus der Erkenntnis der zahllosen Schwierigkeiten und Hindernisse, mit denen jedes selbständige Weiterstreben zu kämpfen hat, erwächst das Gefühl der Bewunderung und Dankbarkeit für die Leistungen einer vorangegangenen Zeit, deren Früchte die Gegenwart geniesst. Frühzeitig finden wir neben den Herrschern und Helden der Völker auch die Schöpfer der ersten Kulturgrundlagen verherrlicht, und da, wo bestimmte Namen und feste Anhaltspunkte für die Entwicklungsgeschichte fehlen, schafft sich die menschliche Phantasie selbst die Gestalten und verwebt sie in den sagenhaften Kreis mythologischer Vorstellungen. In tiefsinniger, poetischer Auffassung haben die Griechen durch die Prometheussage in dem Spender des Feuers das Sinnbild des strebenden Menschengeistes, des rastlosen Erfindungstriebes, sich die Kräfte der Natur dienstbar zu machen, verkörpert, als sie sich bewusst wurden, dass der Gebrauch des Feuers eine der hauptsächlichsten Grundbedingungen aller Kultur und

Gesittung bildet; aber der düstere Hintergrund der Sage, die Qualen des Prometheus, mahnen uns auch gleichzeitig in weitschauender Vorahnung an die Leidensschicksale, welche das Leben vieler der grössten Wohlthäter der Menschheit in den Kämpfen begleiten, der Natur ihre Schätze abzugewinnen und den Menschen auf eine höhere Stufe der Beherrschung materieller Kräfte zu stellen. Zu den geistigen Schwierigkeiten der höheren Erkenntnis gesellen sich die anfangs nicht zu überblickenden Hindernisse, die gewonnene Erkenntnis zu verwerten, ihr lebensfähige Gestalt zu verleihen und die äusseren Mittel zu beschaffen, welche den Gedanken in die That umsetzen.

Die bahnbrechenden Schöpfungen unserer grossen Erfinder entspringen scharfsinniger Beobachtung und Untersuchung, sorgfältig erwogenen und geprüften Schlüssen, verbunden mit zäher Thatkraft, alle für den Zweck benutzbaren Hilfsmittel aufzusuchen und anzuwenden. Nicht mit Unrecht bezeichnen daher die Engländer häufig ihre grossen Ingenieure als Philosophen. Ja, die bahnbrechenden Ingenieure sind Philosophen, Erforscher der Naturgesetze im Hinblick auf ihre Bedeutung für den Menschen, aber nicht nur Philosophen im gewöhnlichen Sinne, sondern auch Philosophen der That, indem sie diese Gesetze zur Hebung der Kultur wirtschaftlich verwenden. Jedes Lebensbild eines solchen Mannes entrollt vor uns die Erweiterung der Erkenntnisgrenzen und der technischen Hilfsmittel seiner Zeit, liefert uns aber auch gleichzeitig eine lehrreiche Charakterstudie, und wie man immer wieder in seinen Gedanken besonders gern zu den bedeutendsten Männern zurückzukehren pflegt, um sich an ihrem Wesen und an ihrer Grösse aufzurichten, so ist für

uns vor allem James Watt eine nie versiegende Quelle geistiger Anregung. Nicht nur, was er geschaffen, sondern mehr noch, wie er es geschaffen, ist mustergiltig für uns, und wenn wir auch ahnen, dass die weitere Entwicklung der technischen Wissenschaft der Welt noch unermessliche Fortschritte bringen wird, so wissen wir doch schon heute, dass das kommende Jahrhundert der Elektrizität auf den Schultern des zur Neige gehenden Jahrhunderts des Dampfes steht.

James Watt wurde am 19. Januar 1736 zu Greenock geboren. Seine sehr zarte Gesundheit hinderte ihn bis zum 14. Lebensjahre am regelmässigen Schulbesuch und verwies den lebhaften Geist teils auf den Unterricht durch die Eltern, teils auf Selbstbelehrung aus Büchern, bis der Knabe sich so weit gekräftigt hatte, dass er in die Grammar School der Stadt eintreten konnte, wo er noch während einiger Jahre Gelegenheit fand, sich durch einen planmässigen Bildungsgang die Grundlagen der alten Sprachen, der Mathematik und der Naturwissenschaften anzueignen. Unter dem Einflusse der ersten Jugendzeit und der vorwiegend häuslichen Erziehung bildete sich der Charakter, wie häufig bei geistig begabten, aber kränklichen Kindern, vorzugsweise nach der Gefühlsseite aus. Mit reicher Phantasie ausgestattet, im engeren Kreise stets der belebende geistige Mittelpunkt, im Besitz einer Erzählungs- und Darstellungsgabe, die schon in jungen Jahren seine Umgebung fesselte, und die in späterer Zeit noch unter anderen Walter Scott an ihm besonders bewunderte, bewahrte er sich trotz seiner frühzeitig hervortretenden ungewöhnlichen Befähigung in allen Lebenslagen die ursprüngliche Bescheidenheit

und Anspruchslosigkeit und trachtete auch auf dem Gipfel seines Ruhmes nie danach, eine öffentliche Rolle zu spielen. Er zeigte von Jugend auf mehr Neigung zu stiller forschender Selbstbeschäftigung, als zum unmittelbaren thätigen Eingreifen in das Getriebe der Welt. Wenn ihn dennoch die Richtung und die Erfolge der eigenen geistigen Arbeit, sowie der Zwang, aus seiner Thätigkeit die Mittel zur Erhaltung seiner Familie und zur Fortsetzung seiner Forschungen zu gewinnen, mitten in das ruhelose Geschäftsleben führten und von einer Aufgabe zur anderen drängten, so überwand er dabei niemals das Gefühl des inneren Unbehagens, dem er gelegentlich in den Worten Ausdruck verlieh: „Ich würde mich lieber vor eine geladene Kanone stellen, als eine Rechnung und ein Geschäft abschliessen.“[1])

Arbeit und Forschung waren für ihn in erster Linie Selbstzweck. Mit dem idealen Endziel, die Arbeitskraft der Menschheit durch eine Maschine mit wirtschaftlich möglichst vollkommener und billiger Betriebsleistung ins Ungemessene zu steigern, verband er eine ungewöhnliche persönliche Opferwilligkeit, sich in den Dienst der Allgemeinheit zu stellen; aber da er stets geneigt war, den Erfolg und den Wert seiner Erfindungen zu unterschätzen, wurde gerade die von einem solchen Vorhaben nicht zu trennende materiell-geschäftliche Seite häufig der Grund, ihn von kühnem Vorgehen abzuhalten und seine Entschlüsse zu verzögern. Ueberwiegend auf fremde Geldmittel zur Durchführung seiner Arbeiten angewiesen, blickte er nie hoffnungsvoll mit froher Zuversicht auf den schliesslichen Erfolg, sondern fürchtete, bis dieser endlich

---

[1]) Watt an Dr. Small, Glasgow, 24. November 1772.

eintrat, stets das Misslingen und den Verlust der Gelder, welche andere im vollen Vertrauen auf seine Tüchtigkeit und den Wert seiner Schöpfungen in das Unternehmen gesteckt hatten. So schrieb er nach einem misslungenen Versuch: „Wenn ich den Verlust irgend womit zu bezahlen hätte, würde ich ein Fehlschlagen schwerlich so schmerzlich empfinden, aber ich kann den Gedanken nicht ertragen, dass andere durch meine Pläne in Verlust geraten.“[1])

Aus diesen Charaktereigenschaften und aus seiner sonstigen geistigen Veranlagung, welche ihm fortschreitende Arbeit zum inneren Bedürfnis machte, erklärt sich das sonderbare Gemisch von Mangel an festem Vertrauen auf die eigene Thatkraft und den schliesslichen Erfolg, und von zäher Ausdauer, einen einmal erfassten Gedanken zu verfolgen, bis er voll ausgereift eine greifbare Frucht darbietet. Nach zagendem Schwanken überwogen in allen Fällen der innere Forschungstrieb und die Pflichttreue, angefangene Arbeiten nicht im Stich zu lassen, die Abneigung gegen die Widerwärtigkeiten des geschäftlichen Lebens. Die häuslichen Einflüsse seiner Umgebung in dem väterlichen Geschäft gaben seiner wissenschaftlichen Begabung die technische Richtung, dass er nicht in abstrakten Gedanken die abschliessende Lösung einer Aufgabe erblickte, sondern sich erst durch die Ausführung und Anwendung des Gedankens auf Bedürfnisse des praktischen Lebens befriedigt fühlte.

Der Vater betrieb in Greenock neben einem kaufmännischen Geschäft zur Ausrüstung von Seeschiffen mit den verschiedenartigsten Bedarfsgegenständen auch eine

---

[1]) Watt an Dr. Small, 10. März 1770.

Werkstatt, in der allerhand Zimmermanns- und Schreinerarbeiten ausgeführt, Winden und Krane gebaut und auch Schiffsinstrumente in stand gesetzt wurden. Hier fand der Sohn Gelegenheit, sich frühzeitig im Gebrauch der verschiedenen Werkzeuge zu üben, und als infolge von Vermögensverlusten durch unglückliche Rhedereigeschäfte die Notwendigkeit eintrat, dass die Kinder möglichst zeitig zu einer selbständigen Lebensstellung gelangten, wiesen die Verhältnisse und Neigungen James Watt darauf hin, die Laufbahn eines wissenschaftlichen Mechanikers einzuschlagen. Er wandte sich zunächst nach Glasgow, wo er durch den Professor Muirhead, einen Verwandten seiner Mutter, mit dem Professor der Naturwissenschaften Dick bekannt wurde und von diesem, nach einer ungeeigneten Beschäftigung bei einem kleinen Optiker, im folgenden Jahre den Rat erhielt, nach London zu gehen, um dort bei einem tüchtigen Mechaniker in die Lehre zu treten. So finden wir ihn im Jahre 1755, im Alter von 19 Jahren, bei Morgan in London beschäftigt, und aus den Briefen an seinen Vater ergiebt sich, dass er in kurzer Zeit mit feinen Präzisionsarbeiten betraut wurde, die er zur Zufriedenheit seines Lehrherrn ausführte. Auf seine vorangegangene gelegentliche Thätigkeit in der väterlichen Werkstatt und auf seine aussergewöhnliche Handgeschicklichkeit fussend, hatte er unter dem Zwange der beschränkten häuslichen Verhältnisse sich von vornherein nur zu einer einjährigen Lehrzeit verpflichtet, und wenn er es auch in dieser Zeit durch seinen eisernen Fleiss zu einer genügenden Selbständigkeit brachte, um sich, wie er hoffte, auf eigene Füsse stellen zu können, fand er doch bei seiner Rückkehr nach Glasgow in den alten

Zunftgebräuchen ein unerwartetes Hindernis, da die Genossenschaft der ansässigen Meister sich der selbständigen Niederlassung nach so ungewöhnlich kurzer Lehrzeit widersetzte. Hier trat der Professor Dick helfend ein und verschaffte ihm zunächst den Auftrag, eine wertvolle astronomische Instrumentensammlung, welche der Universität von einem in Jamaica verstorbenen Kaufmann Alexander Macfarlane vermacht war, in stand zu setzen. Der befriedigenden Erledigung dieser Arbeit folgte im Sommer 1757 auf weitere Verwendung seines Gönners die Ernennung zum mathematischen Instrumentenmacher der Universität mit Ueberweisung einer Werkstatt und eines kleinen Ladens in den Räumen der Universität. Dieses Ereignis und die sich daraus ergebenden weiteren Verbindungen waren für die Zukunft entscheidend. Gleichzeitig wurde aber auch auf diesem Wege die freie Geschäftsthätigkeit nach aussen angebahnt. Schon 1760 hatte das Geschäft solche Ausdehnung gewonnen, dass es aus der Universität in grössere eigene Räumlichkeiten verlegt werden musste, und Watt gewann in Craig einen Geschäftsteilhaber, der die kaufmännische Leitung übernahm. Im Jahre 1764 stieg die Zahl der Arbeiter auf 16, aber der Ertrag blieb ein sehr bescheidener, weil das beschränkte Absatzgebiet zur Uebernahme aller möglichen Aufträge ganz verschiedener Art zwang. Wenn man näher nach der Art dieses Geschäftsbetriebes forscht, ergiebt sich nichts, was geeignet gewesen wäre, die Arbeiten anzuregen und zu fördern, welche später sein Leben erfüllten. In die Art seiner Thätigkeit bis zum Jahre 1764 gewährt eine Geschäftsanzeige aus dem Glasgow Journal vom 1. Dezember 1763 einen Einblick, die hier deshalb im Wortlaut erwähnt

zu werden verdient: „James Watt has removed his shop from the Saltmarket to Mr. Buchanan's land in the Trongate, where he sells all sorts of Mathematical and Musical Instruments, with variety of Toys and other goods."

Von Interesse ist, dass Watt die angekündigten musikalischen Instrumente nicht nur verkaufte, sondern selbst herstellte. Zu seinen bekannten Werken dieser Art gehört eine Orgel für die Freimaurerloge in Glasgow aus dem Jahre 1763, deren Bau ihm Gelegenheit zur Einführung wesentlicher Verbesserungen in der zugehörigen Mechanik bot. Ganz besonders kennzeichnend für sein Wesen ist aber die Art, wie er die Lösung der ihm übertragenen Aufgabe anfasste, indem er hier, wie in allen späteren Fällen, ein fremdes Gebiet zunächst wissenschaftlich durchforschte, bevor er zum Ausführungsentwurf schritt. Obwohl an sich vollkommen unmusikalisch, gelang es ihm auf diesem Wege, aus der Schwingungstheorie eine Einrichtung zu entwickeln, welche ermöglichte, das Instrument auf jede gewünschte Tonleitertemperatur zu stimmen. Das Hauptgebiet seiner Fabrikation bildete die Herstellung optischer Messinstrumente, daneben wurde ein selbsterfundener perspektivischer Zeichenapparat in grösserer Zahl abgesetzt.[1]) In dieser geschäftlichen Thätigkeit Watts findet sich bis zum Jahre 1764 keine Spur einer Beschäftigung mit der Dampfmaschine, und nachweislich hat er diesem ihm zunächst ganz fernliegenden Gebiet bis zu dem genannten Zeitpunkt nur zweimal seine Aufmerksamkeit gewidmet. Der erste Anstoss hierzu ging 1759 von Robison,

---

[1]) Beschrieben im Edinburgh Philosophical Journal 1820, II S. 259 bis 262, und in Muirhead: The mechanical inventions of James Watt, London 1854, I. Kap. VII.

dem späteren Professor der Naturwissenschaften in Edinburgh, aus, der sich damals als junger Student eng an Watt anschloss und bis zu seinem Tode innig mit ihm befreundet blieb. Seine Darstellung von der Erfindung der Dampfmaschine, die er gelegentlich eines Gutachtens in einem späteren Patentprozess zwischen Watt und Hornblower 1796 niederlegte, enthält auch gleichzeitig eine fesselnde Schilderung seiner ersten Begegnung mit Watt in der Mechanikerwerkstatt der Glasgower Universität.[1])

Robison schreibt: »Ich sah einen Arbeiter und erwartete nicht mehr, aber ich war überrascht, einen Gelehrten in ihm zu finden, kaum älter als ich selbst und doch jederzeit bereit, mich zu belehren. Ich bildete mir ein, in meinen Lieblingsstudien ziemlich bewandert zu sein, und fühlte mich sehr herabgestimmt, als ich Watt mir so überlegen fand. — Sein kleines Zimmer war der Sammelpunkt aller strebsamen Studenten. Ich muss gestehen, dass ich kein zweites Beispiel einer so allgemeinen und herzlichen Anhänglichkeit an eine Persönlichkeit kenne, deren Ueberlegenheit alle anerkannten. — Watt war sehr geneigt, dem Scharfsinn eines Freundes Dinge zuzuschreiben, die sehr häufig nur seinen Anregungen entsprungen und von anderen weiter verfolgt waren. Ich hatte den Vorteil einer regelmässigen Erziehung genossen, und dies befähigte mich oft, Watts Forschungen zu leiten und zu unterstützen und die noch umhertastenden Vermutungen seines prüfenden und erfindungsreichen Verstandes in feste Bahnen zu leiten, aber ich fand ihn ständig

[1]) Das Gutachten ist ziemlich vollständig in Muirhead im 4. Kap. des 1. Bandes abgedruckt.

unbetretene Wege beschreiten, wo ich nicht vorangehen, sondern nur folgen konnte. Jede unaufgeklärte Frage bildete für ihn den Ausgangspunkt neuer und ernsthafter Studien, und er ruhte nicht eher, als bis er entweder ihre Wertlosigkeit nachgewiesen oder etwas daraus gemacht hatte.«

Bei diesen Zusammenkünften regte Robison gelegentlich die Verwendung einer Dampfmaschine zur Fortbewegung von Fuhrwerken an und veranlasste Watt dadurch schon 1759 zur Ausführung eines kleinen Modells, das sich aber als unbrauchbar erwies. Watt selbst berichtet in seinen Anmerkungen zu Robisons Abhandlung über die Dampfmaschine [1]), dass er die Versuche, eine Maschine mit Dampfbetrieb herzustellen, erst 1761 oder 62 wieder aufnahm und damals auf dem Deckel eines Papinschen Topfes einen kleinen Cylinder mit massivem Kolben befestigte, der durch zwei von Hand gesteuerte Hähne für den Dampfeintritt und den Dampfauslass nach Belieben mit Last gehoben oder unter der Einwirkung der Last zurückgesenkt werden konnte. Da Robison erwähnt, dass er mit seinem Freunde Leupolds Theatrum machinarum studirte [2]), so ist es nicht unwahrscheinlich, dass die Anregung zu diesem Modell der fast vollkommen damit übereinstimmenden Zeichnung eines Versuchsapparates im zweiten, 1725 erschienenen Bande des Leupoldschen Schauplatzes der Wasserkünste, Fig. V Tafel XLII, entstammt,

[1]) Robison: Mechanical Philosophy with notes and additions by James Watt, edited by Sir Brewster 1882, Bd. II S. 113 Fussnote. Die Wattschen Anmerkungen und Ergänzungen zu diesem Werk stammen in der Handschrift aus dem Jahre 1814.

[2]) Muirhead I, Kap. IV S. XLVI.

welche Leupold durch die weitere Darstellung eines eigenen Entwurfes zu einer zweistiefeligen Dampfpumpe auf Tafel XLIII ergänzt, und worin er den Gedanken einer Hochdruckdampfmaschine mit Kolben niedergelegt hat. Aber auch diesmal verfolgte Watt die Sache nicht weiter und bemerkt dazu, dass zwar für eine wirkliche Betriebsausführung die Handsteuerung leicht durch eine selbstthätige zu ersetzen gewesen sei, im übrigen jedoch die Explosionsgefahr und die Schwierigkeit genügend dichter Verbindungen, sowie die Abschwächung der Kolbenkraft durch den atmosphärischen Gegendruck gegen eine derartige Ausführung für den Betrieb im Grossen gesprochen haben. Beachtenswert bleibt immerhin, dass er den Grundgedanken der Hochdruckdampfmaschine mit in seine späteren Patente vom Jahre 1769 und 1784 aufnahm. Durch seine sonstige geschäftliche Thätigkeit bald wieder in ganz anderer Richtung beansprucht, führte ihn erst der anscheinend von ihm selbst angeregte Auftrag, das Modell einer Newcomenschen atmosphärischen Feuermaschine für die wissenschaftliche Sammlung der Universität Glasgow in stand zu setzen, dazu, sich 1764 gründlich mit dem Stande der bisherigen Ausführungen und Arbeiten auf diesem Gebiet vertraut zu machen und sich in das Studium der in betracht kommenden Fragen zu vertiefen. Das wenige, was hierüber von Belidor und von Desaguliers in der Litteratur vorhanden war, und die mangelnde Gelegenheit, in der Nähe eine wirkliche Betriebsausführung kennen zu lernen, wiesen ihm die Aufgabe zu, sich alle wesentlichen Grundlagen zur Beurteilung selbst zu beschaffen.

Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen einer von Smeaton für die Kohlengrube Long Benton bei Newcastle

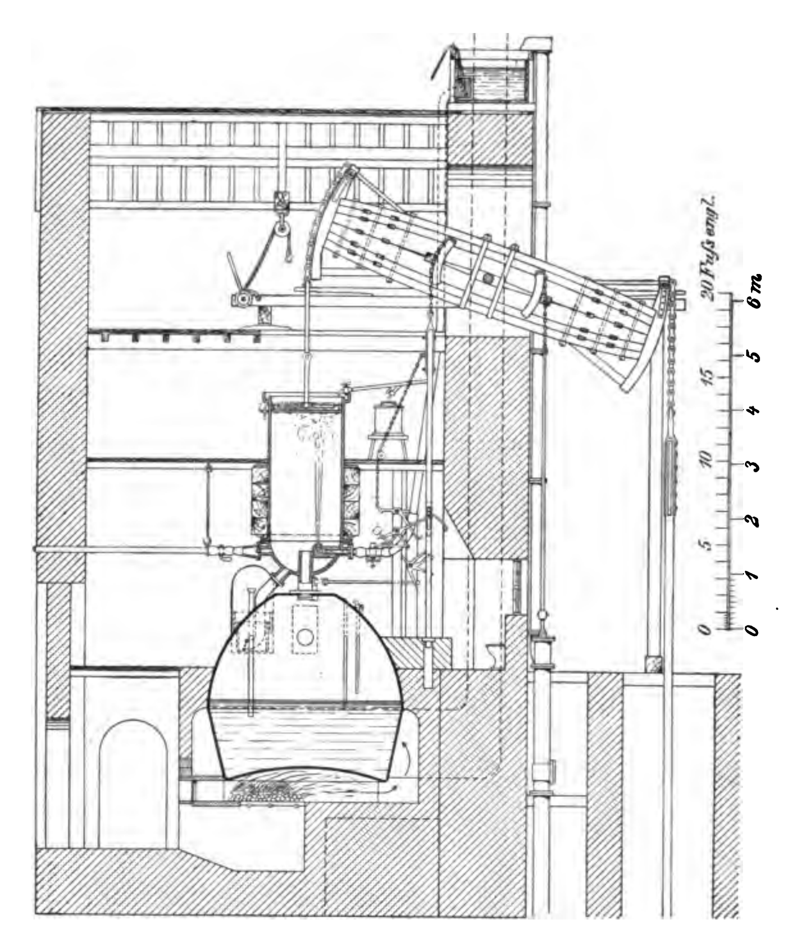


Fig. 1.

entworfenen und ausgeführten Maschine, Fig. 1 bis 5[1]), welche zwar aus etwas späterer Zeit stammt, aber durch die Wattschen Arbeiten noch nicht beeinflusst ist und der

---

[1]) Farey: A treatise on the steam engine. London 1827 S. 133 u. f., sowie S. 172 u. f., nebst Tafel II bis IV.

Bauart entspricht, die schon Beighton vor Smeaton für die Newcomenschen Konstruktionen eingeführt hatte, ist kurz darauf hinzuweisen, dass hier der Dampfcylinder, Fig. 1, gleichzeitig den Kondensationsraum bildete, um unterhalb des Kolbens ein teilweises Vakuum herzustellen und den

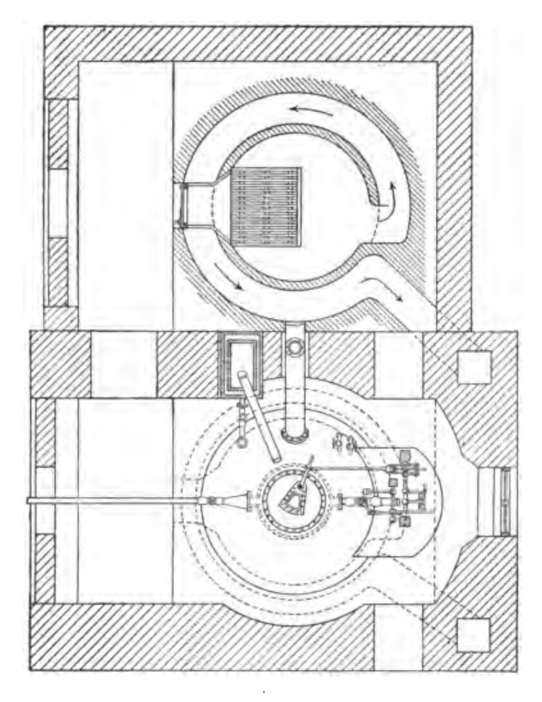


Fig. 2.

äusseren Luftdruck als Arbeitskraft in Thätigkeit zu setzen. Die Maschinen waren einfach wirkend und förderten das Wasser aus Bergwerken mittels einer am äusseren Balancierende angehängten Schachtpumpe während des Dampfkolbenniederganges. Eine selbstthätige Steuerung, in Fig. 3 in grösserem Massstab gezeichnet, vermittelt den regel-

mässigen Wechsel zwischen dem Dampfzutritt in den Cylinder bei aufsteigendem Kolben und dem Oeffnen des Einspritzhahnes bei Beginn der Kondénsationsperiode. Das Kühlwasser wird einem hochgelegenen Behälter entnommen und

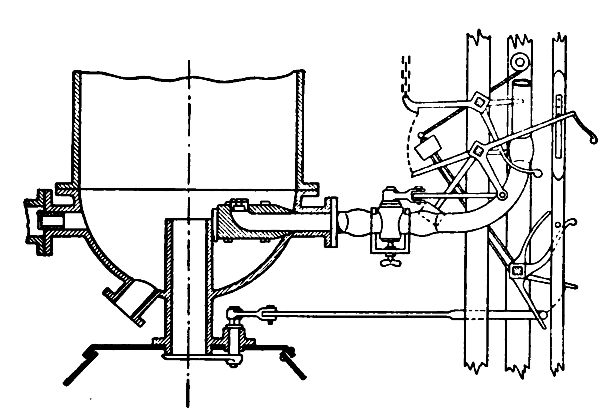


Fig. 3.

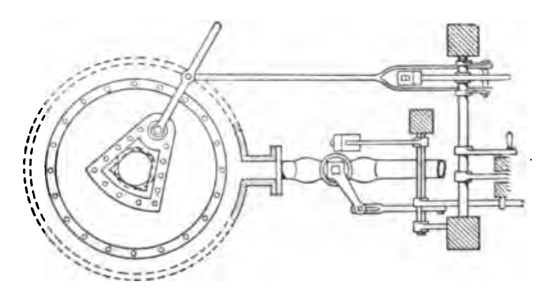


Fig. 4.

spritzt aus einem senkrechten Mundstück im unteren Cylinderraum mit kräftigem Strahl gegen den Kolbenboden. Kurz vor dem unteren Wechsel des Kolbenspiels sperrt die Steuerung den Einspritzhahn ab und öffnet den Dampfschieber im Kesselhals, welcher in Fig. 4 gesondert darge-

stellt ist. Der mit etwas über Atmosphärendruck einströmende Frischdampf leitet den Kolbenrücklauf ein und bläst während des Wechsels die vorher mit dem Einspritzwasser in den Cylinder eingedrungene Luft unterhalb des Kolbens durch das seitliche Schnüffelrohr aus, wobei auch das Gemisch von Einspritz- und Kondenswasser, welches durch die vorangegangenen Druckverhältnisse im unteren Cylinderraum zurückgehalten wurde, nun schnell durch das schräge Ablaufrohr in die Heisswasserzisterne entweicht. Schnüffelrohr und Ablaufrohr sind mit Rückschlagventilen versehen, die sich nach kurzer Oeffnungszeit sofort wieder schliessen, weil der starke Wärmeverbrauch der Cylinderwandungen nach der jedesmaligen Abkühlung durch das eingespritzte kalte Wasser und durch den freien Luftzutritt oberhalb des Kolbens rasch den geringen Ueberdruck des Frischdampfes aufzehrt. Der Kolbenrücklauf vollzieht sich demnach auch nur durch das Uebergewicht des Schachtpumpengestänges. Als Kolbenliderung dient eine Hanfpackung, die, am äusseren Umfange hinter einem aufgeschraubten Winkeleisenring fest eingestampft, bloss durch lose aufgelegte Bleiplatten niedergehalten und durch eine darüber stehende Wasserschicht abgedichtet wird. Ein ständig aus der Kaltwasserleitung, Fig. 1, in den oben offenen Cylinder auf den Kolben niederfliessender Strahl verhindert, dass die dichtende Wasserschicht durch die Kolbenwärme verdampft. Der sich hierbei ergebende Wasserüberschuss entleert sich jederzeit mit dem Eintreten des Kolbens in die höchste Stellung selbstthätig in den ringförmig erweiterten Cylinderkopf und fliesst von hier durch ein Ablaufrohr frei nach unten. Der auf der unteren Fläche zur Beschränkung des Wärmeaustausches mit Holz

belegte Kolben ist in Verbindung mit seiner Kettenaufhängung aus Fig. 5 zu entnehmen. Der Grundriss der ganzen

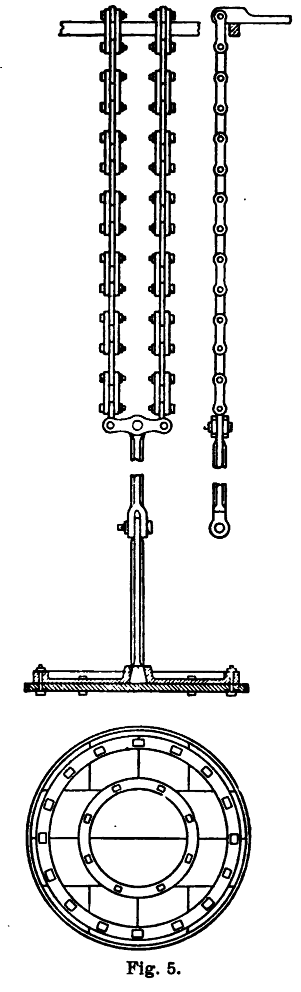


Fig. 5.

Maschinenanlage, Fig. 2, veranschaulicht gleichzeitig die Anordnung der Feuerzüge für die sackförmigen Doppelkessel.

Das Glasgower Modell entsprach den üblichen Betriebsausführungen im verjüngten Massstabe, nur der Kessel war eher verhältnismässig grösser, aber trotzdem stellte sich heraus, dass er nicht hinreichend Dampf zu entwickeln vermochte, um die Maschine mit der vorgesehenen, den sonstigen Verhältnissen entsprechenden Belastung durch die volle Wassersäulenhöhe im Pumpenstiefel stetig zu betreiben. Bei den zahlreichen Versuchen, die Ursache aufzufinden, glaubte Watt anfänglich den Grund für den überraschend grossen Dampfverbrauch in dem ungünstigen Verhältnis zwischen der abkühlenden Cylinderoberfläche und dem Cylinderinhalt bei den kleinen Modellabmessungen, sowie in der grösseren Wärmeleitungsfähigkeit der Bronze im Vergleich zu der des Gusseisens suchen zu sollen, das für Ausführungen im grossen benutzt wurde. Da aber die in dieser Richtung vorgenommenen Untersuchungen und Vergleiche mit abgeänderten Verhältnissen, unter anderem auch mit einem Dampfcylinder aus Holz, nicht zu genügend stichhaltigen Erklärungen für den starken Dampfverbrauch führten, trat für Watt die Beobachtung in den Vordergrund seiner weiteren Erwägungen, dass sich durch grössere Einspritzwassermengen die Hubkraft der Maschine wesentlich steigern liess, gleichzeitig aber auch der Dampfverbrauch zum Wiedererwärmen der stärker abgekühlten Cylinderwandungen in erheblich grösserem Verhältnis störend zunahm. Es war auf diesem Wege also erst recht nicht zu erreichen, dass die Maschine bei beschränkter Dampferzeugung mit voller Belastung stetig fortarbeitete.

Für den ersten Teil der vorstehenden Beobachtungen fand Watt in der von Cullen und anderen Physikern festgestellten Thatsache, dass Wasser unter der Luftpumpe

bei niedrigeren Temperaturen kocht, als unter dem vollen Atmosphärendruck, eine genügende Erklärung, und er schloss aus diesem physikalischen Verhalten des Wassers sofort richtig, dass sich bei unzureichender Abkühlung des Kondensationsraumes aus dem Einspritzwasser lebhaft Dampf entwickelt, die Ausbildung des vollkommenen Vakuums hindert und dementsprechend auch die Kolbenkraft mehr oder minder beschränkt. Im übrigen waren bisher von keiner Seite feste Zahlenwerte für die Zusammengehörigkeit von Spannung und Temperatur des Wasserdampfes bei wechselnder Wärme und für bestimmte Temperaturstufen ermittelt, und so sah sich Watt veranlasst, zunächst diese Lücke selbst auszufüllen. Nicht in der Lage, mit den verfügbaren Hilfsmitteln sofort die Werte unmittelbar für die Verhältnisse im luftleeren Raum zu bestimmen, schlug er den Ausweg ein, mit Hilfe eines Papinschen Topfes, eines Barometers und eines Thermometers den Wechsel von Spannung und Temperatur für Wasserdampf unter Drucken zu messen, welche den der Atmosphäre überschreiten, und indem er von den hierbei gefundenen Werten die Temperaturen als Abscissen, die zugehörigen Spannungen als Ordinaten verzeichnete, schloss er aus dem so entstehenden Kurvenbild auf die Verhältnisse für tiefer liegende Drucke.[1])

Hier tritt uns bei dem ersten wissenschaftlichen Forschungsversuch Watts das fruchtbringende und heute

[1]) Hierüber, sowie über die nachstehend erörterten Versuche vergleiche die ausführlichen eigenen Mitteilungen Watts in Robison: Mechanical Philosophy with notes and additions by James Watt, edited by Brewster, Edinburgh 1822 Bd. II S. 1 bis 46 und S. 114 Fussnote, oder den Abdruck in Farey: A treatise on the steam engine, London 1827, S. 394 u. f.

noch allgemein übliche Verfahren entgegen, die Ergebnisse einer Versuchsreihe graphisch niederzulegen, um das Abhängigkeitsgesetz klar beurteilen und aus dem Kurvenverlauf mit möglichst zuverlässiger Annäherung auf weitere, nicht unmittelbar beobachtete Werte schliessen zu können. Zehn Jahre später wiederholte Watt die besprochenen Versuche und stellte den in Fig. 6 skizzirten Apparat her,



Fig. 6.

welcher eine unmittelbare Bestimmung von Temperatur und Spannung für Wasserdämpfe im Vakuum liefert. Das Barometerrohr mit dem Kugelkopf wurde vor Beginn des Versuches bei umgekehrter Lage des ganzen Apparates über die Kugel hinaus mit Quecksilber und dann bis zur Mündung mit frisch abgekochtem destillirten Wasser gefüllt, die Mündung mit dem Finger verschlossen und

hierauf das Rohr in die gezeichnete Stellung gewendet. Dabei fliesst das schwere Quecksilber nach unten, das Wasser nach oben, und die ganze Flüssigkeitssäule sinkt unter Zurücklassung eines Vakuums im Rohrkopf auf eine bestimmte Höhe, sobald man die Mündung unter dem Quecksilberspiegel einer darunter gestellten Schale freigiebt. Unter der Einwirkung des Vakuums und der Lufttemperatur entwickeln sich aus der jetzt obenstehenden Wassersäule Dämpfe, deren Spannung im Verein mit dem Eigengewicht der Wasser- und Quecksilbersäule den Gegendruck für das Gleichgewicht mit dem äusseren Luftdruck liefert. Bestimmt man aus der Höhe der Flüssigkeitssäulen, welche die angebrachte Skala angiebt, ihr Gewicht und zieht dieses von dem Luftdruck ab, den ein zweites gewöhnliches Barometer während der Beobachtungszeit anzeigt, so liefert der Grössenunterschied unmittelbar die Spannung des Wasserdampfes im Vakuum für die Temperatur der Umgebung. Um diese beliebig verändern zu können und damit die Versuchsreihe soweit wie erforderlich auszudehnen, ist für den Rohrkopf, der das Vakuum einschliesst, ein Wasserbad vorgesehen, das entweder durch Füllung mit Wasser von bestimmter Temperatur oder durch eine Heizflamme auf verschiedene Wärmegrade gebracht werden kann.[1])

Dass hier, wie bei späteren Versuchen über andere Wärmevorgänge, einzelne Fehlerquellen der Apparate die Genauigkeit der Messungen beeinträchtigten, entging Watt

---

[1]) Andere Versuche erstreckten sich auf den Zusammenhang zwischen Temperatur und Spannung der Dämpfe von Salzwasser und Weingeist. Robison Bd. II. S. 32 u. f.; Farey S. 399.

nicht, und auch diese Erkenntnis spricht für die Schärfe seines Urteils. Wie weit er sich aber der Wahrheit näherte und damit dem nächstliegenden praktischen Bedürfnis genügte, lässt am besten der Vergleich mit den

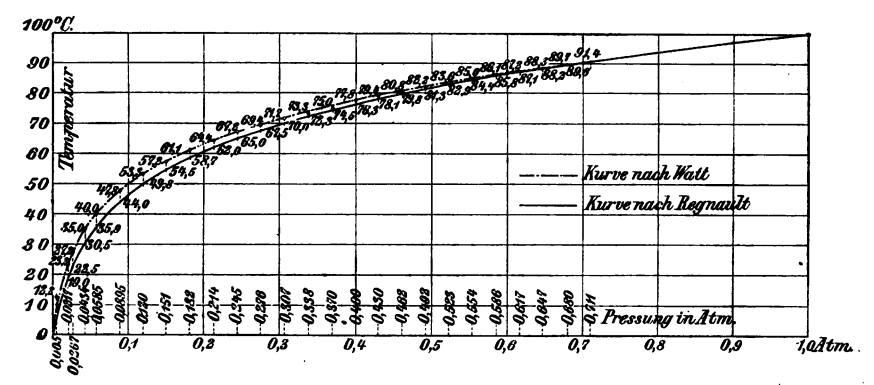


Fig. 7

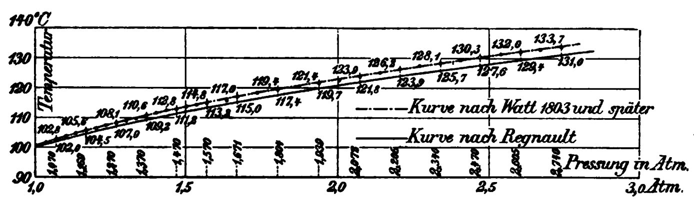


Fig. 8.

Regnaultschen Versuchsergebnissen erkennen, der durch die Kurven Fig. 7 und 8 geboten wird. Die Wattschen Beobachtungswerte sind seinen eigenen Veröffentlichungen in Robisons Mechanical Philosophy entnommen[1]) und auf

---

[1]) Robison: Mechanical Philosophy II, S. 32 bis 34, Fussnoten, woselbst im zugehörigen Haupttext auch Versuchsergebnisse von Robison mitgeteilt sind. Vergl. ferner mit bezug auf denselben Gegenstand ebendaselbst S. 160 u. f. den Brief von Southern an Watt. Weitere Mitteilungen aus späteren

die Masseinheiten der Regnaultschen Versuche umgerechnet, deren Zahlenwerte durch eine Reihe von Handbüchern von Zeuner u. a. in Tabellen verbreitet sind. Die Leistungen Watts gewinnen eine erhöhte Bedeutung, wenn man bei diesem Vergleich erwägt, dass er sich als erster eingehend mit der Sache beschäftigte, und dass eine ganze Reihe weiterer Forschungsarbeiten auf dem Gebiet vorlagen, als Regnault mit dem Aufwand aller inzwischen aufgefundenen Verfeinerungen im Messverfahren 1847 die Untersuchung der gesättigten Wasserdämpfe durchführte und 1862 die

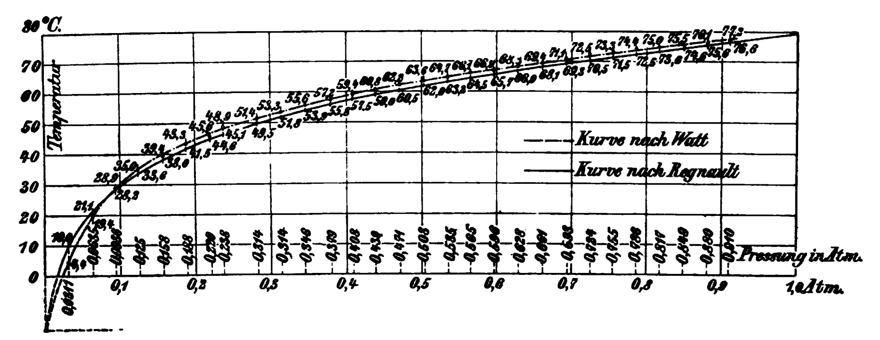


Fig. 9

Spannung der Alkoholdämpfe bei verschiedenen Temperaturen bestimmte.

Die grosse Uebereinstimmung Wattscher Versuche mit den Regnaultschen für Alkoholdämpfe ergiebt sich aus Fig. 9.

Versuchen über Temperatur, Spannung und Dichte des Dampfes von Betancourt, Schmidt, Dalton, La Place, Ure, Christian, finden sich in den Abhandlungen der Kgl. Technischen Deputation für Gewerbe, Berlin 1826, I. Teil S. 338 bis 350 als Tabellenanhang zu dem sehr beachtenswerten Aufsatz von Severin: Beiträge zur Kenntnis der Dampfmaschinen.

Kehren wir zu den weiteren Versuchen Watts aus dem Jahre 1764 zurück, so finden wir ihn mit der genauen Ermittlung des Dampfverbrauchs der Newcomenschen Maschine beschäftigt. Diese Frage liess sich erst beantworten, nachdem festgestellt war, welches Dampfvolumen einer bestimmten Wassermenge, aus der es entsteht, entspricht. Zwar hatte sich schon Desaguliers bestrebt, das Verhältnis zu bestimmen, aber unter groben Rechenfehlern auf grund von Beobachtungen Beightons das specifische Dampfvolumen zu 14000 angegeben[1]), und da Watt sofort die Unmöglichkeit dieses Wertes erkannte, war ein eigener Versuch notwendig. Watt füllte zu dem Zweck einen Glaskolben, der etwa $^1/_2$ ltr fasste, mit ungefähr 30 g destillirtem Wasser, kittete in die Mündung ein beiderseits offenes Glasrohr ein und führte dessen untere Mündung bis unmittelbar über den Wasserspiegel hinab. Der Dampf, welcher sich bei vorsichtigem Erhitzen bis zur Siedetemperatur entwickelte, verdrängte die specifisch schwerere Luft durch die untere Rohrmündung aus der Flasche, und wenn bei möglichst gleichmässiger Temperatur der ganzen Umgebung in dem hierzu benutzten reflektirenden Zinnofen weiter verdampft wurde, war mit dem Verschwinden des letzten Wassertropfens der Glaskolben schliesslich nur mit Wasserdampf von atmosphärischer Spannung erfüllt. In diesem Augenblick wurde der Kolben durch einen Luftstrom rasch abgekühlt und dann mit seinem kleinen Kondensationsinhalt gewogen. Eine zweite Wägung des ganz leeren Gefässes und eine dritte mit voller Wasserfüllung lieferten die gesuchten Werte für das

---

[1]) Robison, Mechanical Philosophy, Bd. II S. 67.

Gewichts- und Volumenverhältnis von Wasser und Dampf. Mit sehr grosser Annäherung an den jetzt bekannten genauen Wert ergab sich aus mehrfachen Wiederholungen des Versuches das specifische Dampfvolumen unter Atmosphärendruck zu 1727.[1] Auf grund dieser Zahl wurde der Dampfverbrauch der Modellmaschine nach Massgabe der im Kessel beobachteten Wasserverdampfung während längerer Arbeitszeit berechnet und gleichzeitig dabei auch der Kohlenverbrauch gemessen. Auf die einzelne Cylinderfüllung umgerechnet, erwies sich der Dampfverbrauch gleich dem drei- bis vierfachen Cylinderinhalt, sodass das Doppelte bis Dreifache der Arbeitsfüllung lediglich für Heizzwecke verloren ging.[2])

Zur bequemen und genauen Beobachtung des Wasserstandes benutzte Watt anstelle der sonst am Kessel vorhandenen Probirhähne das an allen jetzigen Kesseln bekannte Wasserstandsglas, welches später, da schlecht gekühlte Glasröhren häufig sprangen, auf kurze Zeit aus

---

[1]) In dem Bestreben nach noch grösserer Genauigkeit wiederholte Watt diese Versuche später in etwas veränderter Weise, täuschte sich aber, als er die späteren Ergebnisse im Verein mit anderen Beobachtungen an ausgeführten Maschinen für zuverlässiger hielt und dadurch veranlasst wurde, das specifische Dampfvolumen bei 100° C mit 1800 in seine Berechnungen einzuführen.

[2]) Hiermit stehen spätere Angaben von Farey in Uebereinstimmung, welcher in seinem schon mehrfach angeführten Werk »A treatise on the steam engine« auf S. 331 in einer Fussnote mitteilt, dass die besten von Smeaton ausgeführten Newcomenschen Maschinen, mit wachsender Grösse abnehmend, das $3^3/_4$ fache bis mindestens das 1,6 fache des Cylinderinhalts für jede einzelne Cylinderfüllung an Dampf verbrauchten. Smeaton und andere bauten noch Newcomensche Maschinen, als die Wattschen Maschinen schon ziemlich weitgehende Verbreitung gefunden hatten.

der Praxis verschwunden zu sein scheint und durch Schwimmerzeigerwerke ersetzt wurde.[1])

Als Watt schliesslich 1764 auch noch dazu überging, die Wassermenge zu messen, welche jede Cylinderfüllung mit Dampf zum Kondensiren erfordert, wenn der wirksame mittlere Kolbendruck, den damaligen Betriebsverhältnissen entsprechend, auf etwa $^1/_2$ Atm. beschränkt bleibt, war er durch die Grösse des Wasserverbrauches derart überrascht, dass er einen zweiten von den Beobachtungen an der Maschine unabhängigen Versuch zur unmittelbaren Bestimmung der Dampfwärme für geboten hielt, um sich gegen einen Irrtum zu sichern. Hierzu setzte er in die Schnauze eines gewöhnlichen Theekessels ein gebogenes Glasrohr dampfdicht ein und liess die Rohrmündung unter dem Spiegel eines teilweise mit kaltem Wasser gefüllten, durch schlechte Wärmeleiter geschützten Gefässes münden. Der in dem Kessel erzeugte Dampf von atmosphärischer Spannung wurde in dem Kühlgefäss niedergeschlagen und gab hierbei seine Wärme an das Wasser ab. Der Versuch wurde bis zur Grenze der Kondensationsfähigkeit des Kühlwassers fortgesetzt, d. h. bis es selbst durch den einströmenden Dampf die Siedetemperatur von 212° F = 100° C annnahm. Das Endergebnis zeigte, dass 1 ltr Wasser in Dampfform von 100° C 6 ltr. tropfbar flüssiges Wasser von 52° F = 11° C auf 100° C zu erwärmen vermöge, da das Gewicht des ursprünglich 11° C warmen Wassers während des Versuches durch den niedergeschlagenen Dampf um $^1/_6$ zu-

[1]) Robison: Mechanical Philosophy II, S. 155, und Farey S. 369.

genommen hatte. Hieraus berechnet sich die latente Dampfwärme für atmosphärische Spannung, auf unsere Masseinheiten umgerechnet, zu 534 W.-E., wenig abweichend von dem genauen Wert 536,5. — Stets nach grösserer Genauigkeit strebend, wiederholte Watt diese Versuche 1781 und bemühte sich ferner schon 1765 und später noch einmal 1783, auch die latente Wärme des Dampfes für Spannungen unterhalb des Atmosphärendruckes zu ermitteln, ohne jedoch hierfür genügend zuverlässige Werte zu finden. Auf grund des gesamten Zahlenmaterials sprach er die bekanntlich nur innerhalb enger Grenzen annähernd zutreffende Vermutung aus, dass die Summe der latenten und der sensiblen Wärme konstant sei, und setzte dafür nach unserem Masssystem 640 W.-E.[1])

Nach Abschluss der ersten Versuche teilte Watt dem Professor Black in Glasgow, für den er früher als Universitätsmechaniker Apparate angefertigt hatte, und mit dem er bald in wissenschaftlichen und freundschaftlichen Verkehr getreten war, die beobachteten eigenartigen Erscheinungen mit, deren Ursache er sich nicht zu erklären vermochte. Er erfuhr erst hierbei, dass Black, der in den letzten vier Jahren ausserhalb Schottlands gelebt hatte, sich schon vorher mit den Wärmevorgängen beim Schmelzen von Eis und beim Verdampfen von Wasser beschäftigt habe und

---

1) Aus 11 im Jahre 1781 angestellten Versuchen ergab sich nach Ausscheidung zweier augenscheinlich fehlerhafter Beobachtungen die latente Dampfwärme im mittel zu 528,5 W.-E., also infolge der Wärmeverluste innerhalb der Beobachtungszeit unter dem wahren Wert, und die Erkenntnis, dass solche Wärmeverluste eintreten, veranlasste Watt andererseits zu der etwas zu hoch gegriffenen Schätzung des wahren Wertes. (Vergl. Robison II S. 6 u. f., Fussnoten.)

dadurch auf die Entdeckung der latenten Wärme geführt sei. Die Versuche von Watt und Black ergänzten sich in vollständiger Unabhängigkeit; während ersterer für seine Forschungszwecke nur die Wärmeeigenschaften des Dampfes verfolgte, hierfür aber bestimmte Zahlenwerte feststellte, hatte Black hauptsächlich die allgemeinen Wärmeerscheinungen bei Aenderungen des Aggregatzustandes beobachtet und durch die grössere Vielseitigkeit seiner Versuche die Erkenntnis gewonnen, dass die mechanische Veränderung des Stoffzustandes als der Grund des Verschwindens und Wiederfreiwerdens der Wärme anzusehen sei. Robison irrt sich daher, wie schon Watt ausdrücklich betont, wenn er Black den Anstoss und eine unmittelbare Einwirkung auf die vorstehend besprochenen Versuche und daraus auf die nachfolgende Erfindung der Dampfmaschine zuschreibt, und Black selbst hebt in einem Briefe vom 13. Februar 1783 mit voller Entschiedenheit das alleinige Anrecht Watts an der Erfindung der Dampfmaschine hervor.[1])

Durch den von niemand vorher betretenen Weg zur klaren Erkenntnis der Vorgänge in der Newcomenschen Maschine erhob sich Watt, seiner Zeit weit vorauseilend, auf die höchste Stufe wissenschaftlich-technischer Forschung und gründete auf diese, vorbildlich für alle späteren Ingenieure, seine konstruktive Thätigkeit für den Entwurf einer neuen, verbesserten Maschine, mit dem er sich erst von da ab beschäftigte, indem er von vornherein durch seine umfassenden physikalischen Versuche den Boden zur Lösung der neuen Aufgabe ebnete.

---

[1]) Robison: Mechanical Philosophy, 1822 Bd. II enthält als Einleitung auf S. I bis X einen Brief von Watt an Brewster vom Mai 1814 mit allen Belegen für diese Frage.

Im Hinblick auf die noch immer in Deutschland verbreitete Neigung, ausschliesslich abstrakt theoretische Forschungen auch auf Gebiete und Aufgaben auszudehnen, die sich garnicht vom konkreten Fall loslösen lassen, ohne den Boden unter den Füssen zu verlieren und mit der Wirklichkeit in Widerspruch zu geraten, ist es von ganz besonderem Interesse, zu verfolgen, welche weitreichende allgemeine wissenschaftliche Erkenntnis Watt aus der schrittweisen gründlichen Durchforschung einer einzelnen ganz bestimmten praktischen Aufgabe zu tage förderte. In dieser Beziehung verdienen die erörterten grundlegenden Arbeiten aus dem Jahre 1764 als leuchtendes Beispiel volle Beachtung.

Der nächste Erfolg der zahlenmässigen Feststellung der Einflüsse auf den Dampfverbrauch war die vollständige Klärung der Frage, wo der Hebel anzusetzen sei, um die Mängel der Newcomenschen Maschine zu beseitigen. Die Doppelverwendung des Cylinders schloss einen Widerspruch in sich. Der frisch eintretende Dampf verlangte eine möglichst hohe Temperatur, um Verluste durch Kondensation zu vermeiden, die Kondensationsperiode eine möglichst niedrige, um ein ausreichendes Vakuum herbeizuführen, zwei entgegengesetzte Bedingungen, die sich in einem und demselben Gefäss mit stetiger Aufeinanderfolge der wechselnden Vorgänge niemals erfüllen lassen. Hätten zu dieser Erkenntnis, wie Watt selbst in seinem Briefe vom Mai 1814 an Brewster hervorhebt, auch schon die vor ihm bekannten physikalischen Thatsachen genügt, dass sich Dampf bei Berührung mit kalten Körpern niederschlägt, und dass Wasser im luftverdünnten Raume bei wesentlich niedrigeren Temperaturen, als unter Atmosphärendruck,

kocht, also Dampf entwickelt und ein vollkommenes Vakuum verhindert, so hatte doch niemand vor Watt daraus die zur Beurteilung der Newcomenschen Maschinen erforderlichen Schlüsse gezogen. Sodann lieferten erst seine Zahlenwerte den Beweis für die Grösse der hier im Dampfcylinder selbst entstehenden Verluste und zeigten, dass eine wirtschaftlich günstiger arbeitende Maschine nur denkbar sei, wenn man in ganz neue Bahnen einlenke.

Immer wieder und wieder mit der Frage beschäftigt, wie der Zwiespalt beseitigt werden könne, fasste Watt im Anfange des Jahres 1765, gestützt auf seine Beobachtung der schnellen Ausströmgeschwindigkeit des Dampfes, den erlösenden Gedanken, den Kondensationsraum ganz von dem Dampfcylinder zu trennen und die erforderliche, periodisch wiederkehrende Verbindung nur durch ein Rohr mit Ventilsteuerung herzustellen. Dem Wesen des gründlichen Forschers entsprechend, folgte dem Gedanken der Prüfungsversuch mit dem in Fig. 10, S. 30 skizzirten, schnell hergestellten Apparat. Wie ersichtlich, besteht dieser aus einem Kessel, einem Dampfcylinder mit abwärts gerichteter Kolbenstange zum Aufnehmen von Belastungsgewichten, einem kleinen Oberflächenkondensator und schliesslich aus einer hiermit verbundenen Handpumpe. Vor Beginn des Versuches wurde der Apparat mit Dampf ausgeblasen, um die Luft zu entfernen, und der hierbei oberhalb des Kolbens sich niederschlagende Dampf durch die zu dem Zweck hohl ausgeführte Kolbenstange mittels eines Hahnes abgelassen und ebenso der Wasserniederschlag im Kondensator nebst etwaigen Luftresten aus dem Kondensator durch die Handpumpe abgesaugt. Die Hähne in den Rohranschlüssen gestatteten dann, den oberen Cylinderraum abwechselnd

zum Heben und Senken des Kolbens mit dem Kondensator oder mit dem Kessel zu verbinden, während der untere Cylinderraum ständig mit dem Kessel in freier Verbindung blieb. Der nach Massgabe des Wasserverbrauches im Kessel berechnete Dampfverbrauch, die Hubkraft des Kol-

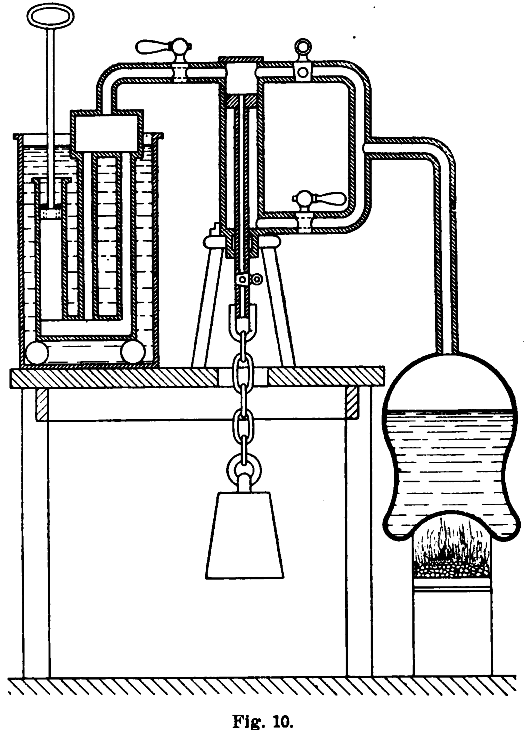


Fig. 10.

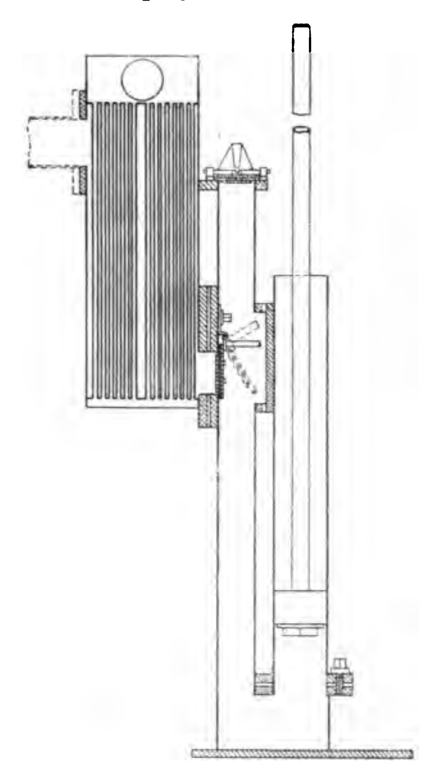
bens und die Schnelligkeit der Kondensationswirkung bestätigten in vollem Masse die Brauchbarkeit und die Vorzüge der geplanten Verbesserung.

In rascher Folge ergaben sich nun für den wissenschaftlich und technisch gleich scharfblickenden und urteils-

fähigen Schöpfer des neuen Gedankens die weiteren Ergänzungen für eine vollständige, selbstthätig fortarbeitende Maschine; aber Ausführung und Prüfung der wichtigeren Einzelheiten erforderten grossen Zeitaufwand mit erheblichen materiellen Opfern, und bei den Schwierigkeiten, welche hier auftauchten, erwähnt Watt gelegentlich das alte englische Sprichwort: „There is many a clip 'twixt cup and lip."

Verschiedene Formen von Oberflächen- und Einspritzkondensatoren, einfach und doppeltwirkende Luftpumpen zum Absaugen aller Luft- und Wasseransammlungen im Kondensator mit verschiedenen Antriebarten, anfangs mit Kurbel von Hand, später durch die Maschine selbst, wurden auf ihre dauernde Betriebsbrauchbarkeit und auf ihre Leistung geprüft. Anfänglich benutzte Watt mit Vorliebe Oberflächenkondensatoren und ging erst nachträglich zur Einspritzung über, weil diese für grössere Maschinenabmessungen in der Ausführung billiger ausfällt und weniger Platz beansprucht, und weil die ohnehin erforderliche Luftpumpe, von deren Unentbehrlichkeit er sich von vornherein nach kurzer Ueberlegung überzeugte, leicht ausreichend gross gebaut werden kann, um neben der Luft und dem verflüssigten Dampf auch das Einspritzwasser aus dem Kondensator fortzuschaffen. Bei den ersten Einspritzkondensatoren begnügte er sich damit, das Ausströmrohr von dem Cylinder bis zur Luftpumpe zum Niederschlagen des Dampfes auszunutzen, und liess den Kühlwasserstrahl hier dem austretenden Dampf entgegen möglichst dicht am Arbeitscylinder wirken. Später wählte er für den Kondensator einen besonderen Cylinder, dessen Aufstellung in Verbindung mit der Luftpumpe am klarsten die später folgende Figur 24 darstellt, und verlegte mit Vorteil für die

wirtschaftliche Wirkung die Einspritzung in grössere Entfernung von dem Dampfcylinder in den Kondensator.



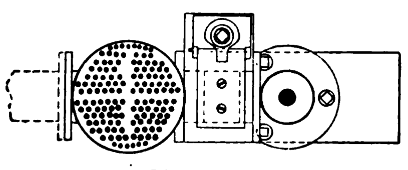


Fig. 11 u. 12.

Dass Watt im übrigen auch die Oberflächenkondensatoren vollständig zweckentsprechend durchgebildet hatte,

ergiebt sich sowohl aus dem ziemlich umfangreichen Briefwechsel über diesen Gegenstand, wie vor allem aus einem noch erhaltenen, in Fig. 11 u. 12 gezeichneten Modell. Der Kondensator enthält 140 Röhren für das durchströmende Kühlwasser, während der abströmende Dampf die Rohre aussen umspült und durch eine senkrecht hängende Ventilklappe im verdichteten Zustande in das Standrohr der Luftpumpe übertritt. Hierbei entweicht alle etwa vorhandene Luft sofort nach oben und gelangt durch die Ausflussventilklappe auf dem Rohrkopf ins Freie, sobald die Luftpumpe, deren Stiefel unterhalb des Kolbens bei dieser Anordnung stets mit Wasser gefüllt bleibt, drückt. Es ist also vor allem eine der Hauptbedingungen: sicherer und leichter Luftaustritt, erfüllt.[1])

Trotzdem bei den Vorversuchen nur Modelle bis 8 Zoll Cylinderdurchmesser und als Material für Dampfcylinder meist Gusseisen, für Kondensator und Luftpumpe in der Hauptsache Zinn zur Verwendung kam, überstieg der Kostenaufwand in den wenigen Jahren bis 1767 den Betrag von 1000 £.

Die Notwendigkeit, sich zur Einführung der Maschine in die Praxis mit einem Industriellen zu verbinden, welcher in der Lage war, dem Unternehmen gleichzeitig die er-

---

[1]) Die Zeichnung ist der Veröffentlichung von Eduard A. Cowper entnommen: On the inventions of James Watt, and his models, preserved at Handsworth and South Kensington, abgedruckt in den Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, November 1883, S. 599, welche eine höchst interessante und geschichtlich bedeutsame Zusammenstellung der wichtigeren noch vorhandenen Originalmodelle und Zeichnungen der in den beiden Sammlungen aufgestellten Wattschen Maschinen, zum teil in photographischen Wiedergaben mit kurzen Beschreibungen, bietet.

forderliche finanzielle Unterstützung zu gewähren, führte Watt mit Dr. Roebuck zusammen, der nach beiden Richtungen hin geeignet erschien, das erstrebte Ziel kräftig zu fördern. Roebuck hatte in der Schwefelsäurefabrikation durch Einführung der Bleigefässe, anstelle der früher benutzten Glasretorten, einen sehr bedeutenden Umschwung veranlasst und sich dabei ein Vermögen erworben. Zur Zeit leitete er die von ihm gegründeten Carron Iron Works in Schottland und hatte grosse Kohlenbergwerke angekauft, um die Holzkohle im Eisenhüttenprozess durch Steinkohle zu ersetzen. Er hatte daher zunächst Gelegenheit, die neue Maschine in den eigenen Unternehmungen zu verwerten, sowie von da weiter zu verbreiten, und in dieser Absicht verpflichtete er sich, gegen eine Entschädigung durch zwei Drittel des zu erwartenden Gewinnes sämtliche bisherigen Unkosten, sowie die weiteren für fernere Versuche und für die Entnahme von Patenten allein zu decken. So schien die Zukunft der Erfindung ausreichend gesichert zu sein.

Watt selbst, mit dem klar erfassten Ziel vor Augen, die Dampfverluste durch unzeitige Kondensation möglichst zu verhüten oder, um einen modernen Ausdruck zu gebrauchen, den Wärmeaustausch zwischen dem Dampf und den Cylindermassen in der Maschine möglichst zu beschränken, begnügte sich nicht mit der getrennten Aufstellung des Kondensators, sondern schloss vor allem, wie das schon bei dem besprochenen Versuchsapparat für den Kondensator erwähnt ist, den bis dahin offenen Dampfcylinder durch einen Deckel mit Stopfbüchse für den Durchtritt der Kolbenstange. Dadurch beseitigte er den abkühlenden Luftzutritt, indem er statt des äusseren Luft-

drucks den Kesseldampf auf die eine Kolbenseite als treibende Belastung einwirken liess, der bei den benutzten Kesselanlagen in seiner Spannung ungefähr dem Atmosphärendruck entsprach. In den Mitteilungen von Cowper (Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, November 1883) wird auf S. 609 die allgemeine Anwendung des Dampfdrucks anstelle des Atmosphärendrucks bei den Wattschen Maschinen in Zweifel gezogen, und Cowper beruft sich darauf, dass er selbst noch alte, einfachwirkende Rotationsmaschinen mit oben offenem Cylinder im Betrieb gesehen habe, bei denen der Rücklauf des frei sichtbaren Kolbens nach oben durch starke Belastung der Lenkstange am anderen Balancierende mittels eines muffenförmigen, schweren Gusseisenklotzes bewirkt wurde. Cowper veröffentlicht das Modell einer solchen Maschine in seiner Abhandlung in photographischer Nachbildung in Fig. 9 und 10 auf Tafel 59, das im übrigen mit einer der letzten Vervollkommnungen, der Parallelogramm-Geradführung, ausgerüstet ist. Da aber die weiteren Angaben auf S. 628 der Abhandlung den Ursprung des Modells in Zweifel lassen und sich Watt selbst schon gegen eine frühere Angabe Robisons, dass die Mitwirkung des Luftdrucks erst später ausgeschlossen sei, in seiner Fussnote zu S. 112 der Brewsterschen Ausgabe von Robisons Mechanical Philosophy II ausdrücklich mit der Erklärung wendet: „This is a mistake. From the first I proposed to act upon the piston with steam instead of the atmosphere, and my model was so constructed“, so ist es mehr als unwahrscheinlich, dass die von Cowper erwähnten Maschinen wirklich aus der Sohoer Fabrik hervorgegangen waren, und dass Watt jemals eine seiner wichtigsten Verbesserungen, wenn auch

nur vorübergehend, wieder aufgegeben haben sollte, zu einer Zeit, wo er sogar schon Rotationsmaschinen mit Parallelogramm-Geradführung für die Kolbenstange baute.

Weitere interessante Einzelheiten der allmählichen Fortschritte ergeben sich aus dem Briefwechsel mit Roebuck. So erwähnt Watt die Benutzung eines Quecksilber-Vakuummeters für seine Untersuchungen an Kondensatoren zum erstenmal in einem Briefe vom 19. April 1768[1]), und längere Zeit hindurch werden die Schwierigkeiten erörtert, welche das Auffinden einer geeigneten, ausreichend abdichtenden und dauerhaften Dampfkolbenliderung bereitete, weil die Newcomensche Wasserdichtung für den dampferfüllten Cylinder selbstverständlich nicht beibehalten werden konnte. Für die meisten Modellversuche waren kegelförmige Stulpen aus Pappe benutzt, die aus altem Tauwerk als Rohmaterial hergestellt, mit Leinöl getränkt, dann scharf getrocknet und schliesslich im Betrieb reichlich mit Fett geschmiert wurden. Da bei der unvollkommenen Kreisform der Cylinderseele das Fett vor allem, wie früher das Wasser, wesentlich zur Dichtung beitragen musste, versuchte Watt teils alle möglichen pulverigen Zusätze zu tierischem Fett, um es zäher und elastischer zu gestalten, teils wandte er Zirkulations-Schmierpumpen an, die dem Kolben stetig Fischthran zuführten, und konstruirte somit in dieser Schmiervorrichtung einen Apparat, der erst viele Jahrzehnte später wieder, wenn auch in neuer, selbständiger Form, im modernen Maschinenbau in Aufnahme gekommen ist, wo die Steigerung der Umlaufzahl Veranlassung bot, zu sicher geregelter, stetiger Oel-

---

[1]) Muirhead I S. 19.

zufuhr die Zuflucht zu nehmen.[1]) Schliesslich vereinfachte er die Kolbenliderung durch Verwendung einfach gefetteter Hanfpackung mit nachziehbarer Brille, eine Konstruktion, die durch seine späteren Ausführungen allgemein bekannt geworden ist.

Der letzte Schritt zur möglichsten Beschränkung des Wärmeaustausches geschah 1768 durch vollständige Dampfummantelung des Arbeitscylinders.[2])

Soweit war die einfach wirkende Dampfmaschine für Bergwerkspumpen durch wissenschaftliche Forschung in verschiedenen Modellausführungen gediehen, als Watt die erforderlichen Schritte that, sich den Patentschutz für seine Erfindung zu sichern; aber er hatte ausserdem noch eine Reihe von Entwürfen für direkt rotirende Dampfmaschinen ausgearbeitet und nahm auch diesen Gedanken in sein Patent auf, den er noch lange später verfolgte und 1782 in einem neuen Patent weiter entwickelt niederlegte, ohne jedoch nach dieser Richtung je bis zu einem wirklichen praktischen Erfolge durchzudringen.

In ewig denkwürdigen Worten sind die leitenden Grundgedanken der modernen Dampfmaschine in der Specifikation des 1769 erteilten Patentes in folgender Fassung niedergelegt:[3])

---

[1]) Diese Oelpumpe wird mit flüchtiger Andeutung der Konstruktion in einem Briefe vom März 1769 an Dr. Small erwähnt, Muirhead I S. 49.

[2]) Die erste Mitteilung über Versuche hiermit findet sich in dem Brief vom 15. April 1768 an Roebuck, Muirhead I S. 18. Vergleiche damit den Schluss des Briefes vom 28. Januar 1769 an Dr. Small, ebenda S. 36.

[3]) Repertory of arts, Ser. I Bd. I S. 217. Robison: Mechanical Philosophy 1822, Bd. II S. 119 Fussnote. Alle Wattschen

„Mein Verfahren, den Verbrauch von Dampf und damit von Kohlen für die Feuermaschinen zu vermindern, besteht in folgenden Grundsätzen:

1) Das Gefäss, in welchem die Dampfkraft benutzt werden soll, um die Maschine in Thätigkeit zu setzen, das bei den gewöhnlichen Feuermaschinen als Cylinder bezeichnet wird, und das ich Dampfgefäss nenne, muss, so lange die Maschine arbeitet, so heiss wie der eintretende Dampf erhalten werden, erstens dadurch, dass es in einen Mantel aus Holz oder aus einem anderen schlechten Wärmeleiter eingesetzt wird, zweitens dadurch, dass man es mit Dampf oder anderen erhitzten Körpern umgiebt, und drittens, indem man weder Wasser noch irgend einen anderen Stoff kälter als der Dampf eintreten oder mit dem Gefäss in Berührung kommen lässt.

2) In Maschinen, die ganz oder teilweise mit Dampfkondensation arbeiten, ist der Dampf in besonderen, vom Dampfgefäss oder Cylinder getrennten Gefässen zu kondensiren, die nur zeitweise mit ihm in Verbindung treten. Diese Gefässe nenne ich Kondensatoren; die Kondensatoren sollten, solange die Maschine arbeitet, durch Wasser oder kalte Körper wenigstens so kühl gehalten werden, wie die umgebende Luft.

3) Alle Luft und der etwa durch die abkühlende Wirkung des Kondensators nicht vollkommen verdichtete elastische Dampf, der die Leistung der Maschine abschwächt, sind aus dem Dampfgefäss oder dem Kondensator mittels Pumpen abzuziehen, welche durch die Maschine selbst oder sonstwie betrieben werden.

Patentspecifikationen sind vollständig mit Zeichnungen abgedruckt in Muirhead, Bd. III.

4) Ich beabsichtige, in vielen Fällen die Spannkraft des Dampfes zu verwenden, um in derselben Weise, wie jetzt der Luftdruck bei den gewöhnlichen Feuermaschinen benutzt ist, auf Kolben oder was etwa an deren Stelle tritt, einen Druck auszuüben. Falls kaltes Wasser nicht in ausreichender Menge zu beschaffen ist, können die Maschinen durch diese Dampfkraft allein getrieben werden, indem man den Dampf, nachdem er gearbeitet, in die freie Luft entweichen lässt.“

Die weiteren Punkte beziehen sich auf verschiedene Arten der Kolbendichtung mit Oel, Fett, flüssigen Metallen u. a., sowie auf direkt rotirende Maschinen mit Schaufelkolben.

Wie scharf und treffend fasst der erste Abschnitt dieser vor mehr als 125 Jahren niedergelegten Patentschrift die Forderungen des beschränkten Wärmeaustausches zusammen, als handelte es sich um eine Maschine der Gegenwart, und wie vollkommen genügten auch die Ausführungen den aufgestellten Grundsätzen! Fig. 13, S. 40 veranschaulicht den Dampfcylinder einer der ältesten Wattschen einfach wirkenden Maschinen nach einer Skizze von Farey, die dieser seinerzeit schon der zweiten Ausgabe der Encyclopaedia Britannica entnommen hat.[1]) Der hier und in den weiteren Zeichnungen fortgelassene äussere Holzmantel mit Zwischeneinlage eines geeigneten schlechten Wärmeleiters fehlte in keiner Ausführung. Und nun vergleiche man mit dieser hier aktenmässig beglaubigten Thatsache die zahlreichen Ausführungen späterer Jahrzehnte bis über die Mitte unseres Jahrhunderts hinaus, wo der Dampfmantel entweder

---

[1]) Farey: A treatise on the steam engine 1827, S. 321 u. 322.

ganz fehlte oder in vollkommener Verkennung des Zweckes bisweilen sogar mit Abdampf gespeist wurde. Selbst in England, wo sonst das zähe Festhalten am Erprobten und der nicht leicht zu beirrende praktische Sinn einmal errungene Vorteile selten wieder preisgeben, zog ein Mann

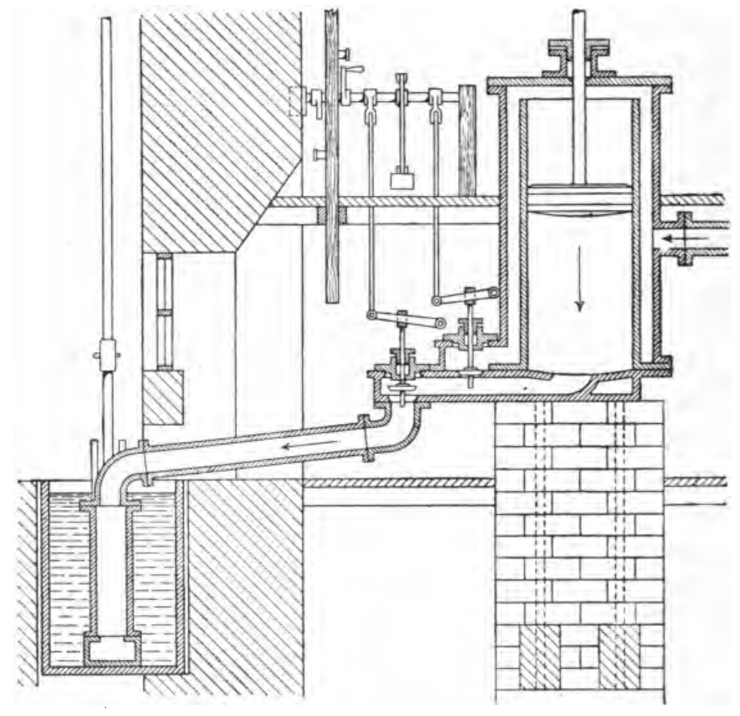


Fig. 13.

wie Tredgold mit einseitigen theoretischen Bedenken gegen die künstliche Heizung der Cylindermassen zu Felde. Zwar fanden sich immer wieder hervorragende Ingenieure, welche den Wert der Wattschen Anschauungen und Erfahrungen in vollem Umfange würdigten und durch ihre eigenen

Untersuchungen, durch einzelne Veröffentlichungen, wie auch vor allem durch ihre Ausführungen dafür sorgten, dass die wichtige Erkenntnis von dem hohen wirtschaftlichen Wert des möglichst gleichbleibenden Wärmezustandes in den Cylindermassen durch Anwendung des Heizmantels nicht verloren ging; aber der überwiegende Teil der wissenschaftlichen Fachlitteratur und unsere technischen Bildungsanstalten brachten der Sache kein eigenes Erfahrungsverständnis entgegen und hemmten durch beharrliches Schweigen oder durch irrtümliche Auffassungen den Entwicklungsgang der von den Lehrstühlen und Lehrbüchern gerade in Deutschland besonders beeinflussten Praxis.

Der Fabriken-Kommissionsrat Severin hatte in seinem an die Kgl. Technische Deputation für Gewerbe in Preussen erstatteten Bericht, der in den Abhandlungen dieser Deputation, Teil I, S. 1 bis 360, im Jahre 1826 unter dem Titel: „Beiträge zur Kenntnis der Dampfmaschine", veröffentlicht ist und mit zahlreichen guten Zeichnungen die beste deutsche Quelle für die Entwicklungsgeschichte der Dampfmaschine bis zu dem genannten Zeitpunkt bildet, gewissenhaft Watts Anwendung des Dampfmantels und die günstigen damit erzielten Erfolge hervorgehoben, während viel später erschienene Werke gerade diesen wichtigen Punkt übergehen oder nur in einer Weise berühren, die sich leicht der allgemeinen Beachtung entzog. Schon in der 1839 von Meissner herausgegebenen Geschichte der Dampfmaschine ist in den Zeichnungen Wattscher Konstruktionen der Dampfmantel fortgelassen und im Text nicht erwähnt. Die in zahlreichen Auflagen von Scholls Führer des Maschinisten immer wieder abgedruckte „Kurzgefasste Geschichte der Dampfmaschine"

von Reuleaux berichtet ebenfalls nichts von dieser alten und für den jetzigen Dampfmaschinenbau unentbehrlichen Anordnung Watts. Auch in Lehrbüchern, die mehr in das Einzelne eindringen, in verbreiteten Werken über die mechanische Wärmelehre, findet man noch vor 15 Jahren keine Erörterung des Wärmeaustausches, ja nicht einmal einen Hinweis auf die hierüber vorliegenden Erfahrungsthatsachen. Dieser Mangel erscheint um so auffallender, als inzwischen, um die Mitte unseres Jahrhunderts, Hirn 1856 in den Berichten der Industriellen Gesellschaft zu Mülhausen seine umfassenden Untersuchungen in dem Mémoire sur l'utilité des enveloppes à vapeur niedergelegt und 1857 ebendaselbst in seinem Mémoire sur la théorie de la surchauffe dans les machines à vapeur die eng damit verknüpfte Frage des überhitzten Dampfes eingehend erörtert hatte. Auch in Amerika hatte vor allem Isherwood den Weg der wissenschaftlichen experimentellen Forschung weiter betreten und die Ergebnisse seiner Versuche durch die 1863 und 1865 veröffentlichten Researches in Steam Engineering, Bd. 1 und 2, weiteren Kreisen zugänglich gemacht. Aber trotz Watt, trotz Hirn und der von ihm ausgegangenen Elsässer Schule, trotz Isherwood und der täglichen Erfahrungen, dass der thatsächliche Dampfverbrauch die Dampfmenge, welche sich aus dem Indikatordiagramm berechnen lässt, in nicht wenigen Fällen um 100 pCt. überstieg — bei Fördermaschinen und Dampfhämmern um Hunderte von Prozenten —, wurde der Einfluss der Verlustquellen in Werken, welche die Theorie der Dampfmaschine behandeln, fast mit Stillschweigen übergangen, und es dauerte geraume Zeit, bis man sich nicht nur mit einer gewissen Dampfmenge und einer bestimmten Wasser-

menge rechnerisch beschäftigte, sondern auch die freilich weit verwickelteren Vorgänge zwischen dem Dampf und den veränderlichen Oberflächen der Cylinderwände der analytischen Behandlungsweise theoretischer Forschung unterwarf.[1])

Als bei der allgemeinen Unsicherheit, welche in weiten Kreisen über die Bedeutung des Heizmantels für den Dampfcylinder bestand, das Bedürfnis immer mehr hervortrat, die Frage in unseren Fachzeitschriften zu einer Entscheidung zu bringen, fehlte es auch dort noch vor 20 Jahren neben den Verteidigern des Dampfmantels nicht an solchen, die seinen Nutzen mehr oder minder be-

---

[1]) Das in Deutschland verbreitetste Werk über mechanische Wärmetheorie von Zeuner, welches 1866 in zweiter, vollständig umgearbeiteter Auflage erschien, die 1877 nochmals abgedruckt wurde, als dem Verfasser die Zeit zu einer abermaligen Neubearbeitung fehlte, lässt den Wärmeaustausch zwischen Dampf und Cylindermassen in diesen Ausgaben noch unberücksichtigt. Erst 1881 und 82 behandelte Zeuner die Frage in zwei Aufsätzen im Civilingenieur, um sich mit der sogenannten Elsässer Schule, besonders mit Hirn und O. Hallauer, über den Sachverhalt auseinanderzusetzen. — Vergl. auch Hirn: Discussion critique et réfutation d'un travail récemment publié par M. G. Zeuner dans l'Ingénieur civil, und O. Hallauer: Réfutation de la critique de M. G. Zeuner, beide im Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse 1881, sowie Hirn und O. Hallauer: Thermodynamique appliquée. Réfutations d'une seconde critique de M. Zeuner, Bulletin 1882. — Daran schloss sich die Abhandlung von Grashof: Kalorimetrische Untersuchung der Dampfmaschine, Z. d. V. d. Ing. 1883 S. 161, mit zwei Ergänzungen ebendaselbst S. 787 und 1884 S. 22, sowie der Vortrag von A. Brauer: Die gegenwärtige Richtung der Dampfmaschinentheorie und ihre experimentelle Begründung, Z. d. V. d. Ing. 1883 S. 650, ferner ein weiterer Aufsatz von Grashof: Ueber die Wärmeleitung in Cylinderwänden von Dampfmaschinen, Z. d. V. d. Ing. 1884 S. 293. Schliesslich folgte Kirsch mit einer grösseren, selbständig erschienenen Arbeit: Die Bewegung der Wärme in den Cylinderwandungen der Dampfmaschine, Leipzig 1886.

stimmt in Abrede stellten, ja ihn auch wohl unmittelbar für schädlich hielten. Was die einen aus den Indikatordiagrammen richtig als günstigen Einfluss der künstlichen Cylinderheizung deuteten, erklärten die anderen als Wirkung der Kolben- und Schieber- oder Ventildurchlässigkeit, und man ging so weit, aus den Indikatordiagrammen die gesammte Querschnittsgrösse der vermuteten Undichtheiten zu berechnen, um auf diesem Wege den entstandenen Streit zu entscheiden.[1])

---

[1]) Aus der Zahl der verschiedenen Aufsätze, welche in diese Streitperiode fallen, möge hier, unter Bezugnahme auf die schon in der vorigen Fussnote angeführten Arbeiten, noch auf folgende Abhandlungen verwiesen werden, die selbst wieder eine Reihe weiterer Quellennachweise enthalten: Bède: Theorie der Dampfmaschinen mit besonderer Berücksichtigung der Dampfhemden, Civilingenieur 1863 S. 227 und 458; Weiss: Die kalorischen Einwirkungen der Cylinderwandungen unserer Dampfmaschine auf die Form der Indikatordiagramme und auf den Dampfverbrauch, Z. d. Architekten- und Ingenieurvereines zu Hannover 1874 S. 26 u. f.; W. Riehn: Einige Bemerkungen über den Einfluss der Cylinderwandungen auf das Verhalten des Dampfes in der Dampfmaschine, Civilingenieur 1877 S. 77; Illeck: Ueber die reale Expansionslinie im Cylinder der Dampfmaschine und deren Beeinflussung durch den Dampfmantel, Civilingenieur 1877 S. 82; Lüders: Zur neueren Theorie der Dampfmaschine und des Dampfverbrauches, Z. d. V. d. Ing. 1882 S. 234. Lehrreich ist für das Studium der Frage ferner: Otto H. Mueller: Die Dampfmaschine vom ökonomischen und praktischen Standpunkte betrachtet, Wien 1877, und der Aufsatz desselben Verfassers: Zum Todestage von George Henry Corliss. Ein Beitrag zur Geschichte der Präzisionsdampfmaschine, Z. d. V. d. Ing. 1889 S. 169, woran sich ebendort S. 278, 280, 336, 354, 357, 406 und 1223 Auseinandersetzungen zwischen Riehn und Mueller, sowie weitere Erörterungen von Lüders u. a. knüpfen, die einen tiefen Einblick in die damals noch herrschenden Zweifel gewähren.

Bède verweist auf die Wattsche Priorität der Einführung des Dampfmantels, schreibt aber, weil er in Fareys Treatise on the steam engine eine ausführliche Begründung vermisst, die

Wie sehr Watt sich nicht nur durch seine scharfe Ueberlegung, sondern auch durch wiederholte Versuche von dem wirtschaftlichen Nutzen des Dampfmantels Rechenschaft ablegte, geht aus verschiedenen kleineren, schriftlichen Mitteilungen hervor. Es handelte sich bei ihm hier, wie in allen seinen sonstigen Arbeiten nicht nur um einen genialen Gedanken, sondern um sorgfältig erforschte Thatsachen, und dass auch die Gesichtspunkte, welche gegen den Dampfmantel zu sprechen scheinen: die Verluste des Heizdampfes durch eigene Kondensation an den äusseren Abkühlungsflächen, sowie die vermehrten Herstellungskosten und Schwierigkeiten der Cylinderkonstruktion, von ihm wohl erwogen und schliesslich als unberechtigte Gegengründe zurückgewiesen sind, geht mit voller Bestimmtheit aus folgenden Briefstellen hervor. Am 28. Januar 1769 schreibt er seinem Freunde Dr. Small: „Ich habe auch Unrecht gehabt, den äusseren Cylinder zu entfernen, der den inneren immer mit einem Dampfmantel umschloss, bereit, jeden Wärmeverlust zu ersetzen, der durch Verdampfen an der Innenfläche sonst entstehen könnte"; in einem nachfolgenden Brief vom 11. Februar kommt er auf denselben Versuch ausführlicher zurück, dessen Ergebnis ihn veranlasste, den Dampfmantel wieder anzubringen[1]), und 1778 teilte er Smeaton mit: „Wir haben

---

Wahl nur Watts glücklicher genialer Erfindungsgabe zu und bestreitet, dass Watt durch tiefere Beschäftigung ein klares Verständnis von der Wirkung gehabt habe. Gegen die Berechtigung dieser beweislosen Behauptung sprechen die eigenen brieflichen Mitteilungen Watts, die Bède unbekannt geblieben zu sein scheinen.

[1]) Muirhead I S. 36 und 44. Siehe ebendaselbst im II. Bande S. 178 den Brief von Watt an Boulton vom 2. Oktober 1783 über

jetzt den alten schwerfälligen gusseisernen Aussencylinder aufgegeben und dafür einen Mantel aus Blechplatten in $1^1/_2$ Zoll Abstand angeordnet, der bis auf 6 Zoll an den oberen und bis auf 3 Zoll an den unteren Cylinderflansch heranreicht. Dieser scheint ebenso gute Dienste zu leisten, wie der Aussencylinder. Wir haben auch einige Maschinen ganz ohne Aussencylinder ausgeführt, aber keinen Grund, unsere Sparsamkeit zu loben, da der Kohlenverbrauch wesentlich grösser war".[1])

Welcher Erkenntnis- und Erfahrungsschatz liegt in diesem kurzen bündigen Urteil aus dem Jahre 1778!

Die Ausführungen zeigten, dass die nützliche Wirkung des Heizdampfes, welche sich aus den Versuchsergebnissen herausstellte, auf Kosten eines verhältnismässig geringen Dampfverbrauches gewonnen wurde, über dessen Grösse die Menge des aus dem Heizmantel abfliessenden Kondenswassers Aufschluss gab.[2])

Die grösseren Maschinen hatten bei dieser neuen Bauart, wie aus den im weiteren Verlauf der Darstellung eingefügten Zeichnungen, Fig. 15, 18 und 24, hervorgeht, selbständige Boden- und Deckelheizung. Der Blechmantel wurde zweiteilig mit verbindender Stopfbüchse ausgeführt, um Spannungen durch verschiedene Wärmeausdehnungen des inneren und äusseren Cylinders zu verhüten. Das Kondenswasser des Heizdampfes wird entweder, wie in

---

Versuche mit Schwanzhammerdampfmaschinen mit und ohne Dampfmantel.

1) Farey S. 329 Fussnote.

2) Robison: Mechanical Philosphy II, S. 125. Einschaltung von Watt . . . „the condensation by the outer cylinder itself which was very small, had no other bad consequence, than the loss of so much steam as formed the condensed water."

Fig. 15 angedeutet, von Zeit zu Zeit durch einen Hahn im tiefsten Punkt abgelassen oder fliesst, wie aus Fig. 24 zu entnehmen, durch ein tief hinabreichendes **U**-Rohr, in dessen senkrecht aufsteigendem Ausflussschenkel sich bei der geringen Betriebsspannung eine ausreichende Wassersäule für den Dampfabschluss ansammelt, selbstthätig in die Heisswasserzisterne ab.

Durch die Sicherung des Patentes war ein sehr wichtiger Schritt vorwärts geschehen, aber andere Hindernisse stellten sich dem Bergen der fast gereiften Frucht entgegen. Roebuck geriet durch seine Bergwerksunternehmungen in grosse finanzielle Schwierigkeiten und konnte selbst nicht einmal der übernommenen Verpflichtung nachkommen, die Unkosten der Patentgebühren zu decken, sodass hierfür die Hilfe des befreundeten Professors Black in Anspruch genommen werden musste. Inzwischen war auch Craig in Glasgow gestorben, und nach diesem Verlust entschloss sich Watt, sein Mechanikergeschäft, dem er sich bei seiner vielfachen Inanspruchnahme nicht ausschliesslich widmen konnte, ganz aufzugeben, als sich ihm durch die Nachfrage nach Vermessungsingenieuren in Schottland die Gelegenheit bot, auf grund seiner genauen Kenntnis der Nivellirinstrumente eine neue, befriedigend bezahlte Thätigkeit aufzunehmen, vermöge deren er seine Schulden abtragen und für die Erhaltung seiner Familie in ausreichender Weise sorgen konnte. So wurde er in eine ganz neue Richtung gedrängt, und die äusseren Verhältnisse drohten gerade in der Zeit, als er das gesetzliche Besitzrecht der Ausbeute seiner Erfindungen in Händen hielt, jede Möglichkeit zu rauben, davon wirklich Gebrauch zu machen. In dieser unsicheren Lage knüpften sich zu-

fällig neue Verbindungen an, die für die Zukunft von grösster Bedeutung wurden.

Die geschäftliche Vertretung eines Kanalprojektes, mit dessen Vorarbeiten Watt betraut war, wie die eigene Patentangelegenheit führten ihn wiederholt nach London und auf diesen Reisen auch nach Birmingham, wo er die berühmten Werke Boultons unter der Führung des Dr. Small besichtigte und in der Folge Gelegenheit fand, mit diesem und später mit Boulton seine Gedanken über die Dampfmaschine auszutauschen. Dr. Small, ein Schotte von Geburt, war einige Zeit an der Universität Williamsburg in Virginia als Professor der Naturwissenschaften thätig gewesen, durch Gesundheitsrücksichten aber veranlasst worden, nach England zurückzukehren, und hatte sich in Birmingham niedergelassen, wo er in innigem freundschaftlichem Verkehr mit Boulton auch an dessen geschäftlichen Interessen und Unternehmungen lebhaften Anteil genommen zu haben scheint.

Er war ein Mann von umfassenden wissenschaftlichen Kenntnissen, mit scharfer Urteilskraft für praktisch-technische und geschäftliche Fragen. Ohne sich in dieser Richtung öffentlich bemerkbar zu bethätigen, hat er gerade hierin Watt sehr wesentliche Dienste geleistet. Das bekundet unter anderem vor allem ein Brief vom 5. Februar 1769[1]), der hinsichtlich des Wortlautes der damals von Watt entworfenen Patentspecifikation für die spätere Verteidigung der Patentrechte sehr wertvolle Ratschläge enthielt und eine möglichst allgemeine Fassung mit klarer Betonung des Hauptpunktes, des getrennten Kondensators,

---

[1]) Muirhead I S. 37.

ohne irgend welche bestimmte Konstruktions-Einzelzeichnungen anempfahl, da sonst durch geringfügige Abänderungen von anderer Seite der Umgehung des Patentes Thür und Thor geöffnet würde. Watt nahm die Smallschen Vorschläge für den Text zum teil wörtlich auf und setzte beim Patentamt auch die Annahme seiner Anmeldung ohne Beigabe von Zeichnungen durch, während, der schon damals herrschenden Vorschrift entsprechend, alle seine späteren Patente von Zeichnungen begleitet sind.

Boulton, einer der hervorragendsten Grossindustriellen des vorigen Jahrhunderts, hatte aus kleinen Anfängen, aus einer Metallknopffabrik seines Vaters, in der auch kleine Zierketten und feine Schnallen hergestellt wurden, eine grosse kunstgewerbliche Fabrik in dem benachbarten Soho entwickelt, wo im Jahre 1770 bereits zwischen 700 und 800 Arbeiter beschäftigt waren, und zum Betrieb des Walzwerkes, der Dreh- und Polirbänke, sowie der Schleifereien zwei Wasserkräfte ausgenutzt wurden. Das Unternehmen lässt sich mit der heutigen Württembergischen Metallwarenfabrik in Geislingen vergleichen. Neben silberplattirten Waren wurden Edelmetalle, Bronze, Steine, Schildpatt, Glas und Emaille zu allerhand Kunstgegenständen des häuslichen Zierrates vornehmer Häuser verarbeitet. Berühmte alte Muster, sowie die Entwürfe einer Reihe für das Werk angestellter Künstler lieferten die Vorbilder, nach denen gearbeitet wurde, und durch deren Schönheit und vorzügliche Ausführung Boulton Weltruf genoss.[1])

---

[1]) Smiles: Lives of the Engineers. Boulton and Watt. London 1878, S. 115 bis 129.

Ein Mann von so vielseitigem und niemals rastendem Unternehmungsgeist war mehr als irgend ein anderer geeignet, den Wert der Wattschen Erfindungen zu würdigen, und schon im Februar 1769 finden wir ihn mit der Erwägung des Planes beschäftigt, seine Kapital- und Arbeitskraft hierfür einzusetzen.[1]) Mit weitschauendem Blick entwickelt er den Gedanken, wie die Sache in Angriff zu nehmen sei, um von vornherein den Erfolg zu sichern. Eine neue Fabrik in Soho, ausschliesslich für den Dampfmaschinenbau eingerichtet, mit den besten Werkzeugen ausgestattet, müsse einen Arbeiterstamm heranziehen und ausbilden, der tadellose Präzisionsarbeit liefere, während er andererseits auf die Erschliessung des Weltmarktes als Absatzgebiet für die neuen Maschinen hinweist, um durch Massenfabrikation, trotz der höchsten Anforderungen an die Güte, genügend billig arbeiten zu können.

Die noch bestehenden Verbindlichkeiten gegen Roebuck standen der sofortigen Ausführung des Planes entgegen, und wenn dessen zunehmende Geldverlegenheiten ihn auch veranlassten, im November 1769 die Hälfte seines Anrechtes am Wattschen Patent Boulton und Small abzutreten,[2]) so hinderte er doch durch seinen Restanteil Boulton an der freien Verfügung, das Unternehmen unabhängig in die Hand zu nehmen, und verzögerte dadurch den Lauf der Dinge, bis endlich der längst drohende Vermögenskonkurs ihn 1773 zwang, seine letzten Anrechte zu veräussern.

---

[1]) Brief Boultons an Watt vom 7. Februar 1769. Muirhead I S. 41.

[2]) Roebucks Brief vom 28. November 1769 an Dr. Small und Boulton. Muirhead I S. 82.

In der Zwischenzeit litt Watt schwer unter den schwankenden Verhältnissen. Auf Betreiben Roebucks war 1769 noch eine grosse Versuchsmaschine von 18″ Cylinderdurchmesser und $5^1/_2$′ Kolbenhub in der Nähe seines Wohnortes Kinneil aufgestellt, aber Watt fand wegen seiner zunehmenden Thätigkeit als Zivilingenieur für die Kanalbauten in Schottland nur gelegentlich Zeit, die Versuche damit anzustellen, welche den Abschluss der Erfahrungen für die Ausführungen im grossen Massstab bringen sollten.[1])

---

[1]) Nach dem Vortrage des Verfassers ist im gleichen Monat „Die Geschichte des Eisens", 3. Abteilung, Lieferung 3, Braunschweig 1896, von Dr. Ludwig Beck erschienen, die auf den letzten Bogen ein noch nicht vollständig abgeschlossenes Kapitel: James Watt und die Dampfmaschine, enthält. Da diese Darstellung von irrtümlichen Verwechslungen und Widersprüchen nicht frei ist, gestatte ich mir, auf grund des in Muirhead I abgedruckten Briefwechsels zwischen Watt, Roebuck und Dr. Small zur Aufklärung Folgendes festzustellen. Die erste Bestellung für eine grosse Versuchsmaschine mit 7′ Cylinderlänge und 24″ Cylinderdurchmesser erteilte Watt am 10. November 1765 an die Carron Iron Works; der hiernach ausgeführte Cylinder erwies sich aber als vollkommen unbrauchbar und wurde nie benutzt (Muirhead I S. 11). In Watts Briefen der folgenden Jahre aus Glasgow finden sich mehrfache Berichte über Versuche mit kleineren Maschinen, deren gusseiserne Cylinder nur 7 bis 8″ Durchmesser hatten. Der Gedanke, eine grosse Versuchsmaschine in Kinneil aufzustellen, wurde erst wieder im November 1768 aufgenommen (Muirhead I S. 34), und am 16. März 1769 schlug Watt Roebuck, im Hinblick auf die Unkosten und die Unvollkommenheiten der damaligen gusseisernen Cylinder, vor, als Material Zinn zu verwenden. Gleichzeitig berichtete Watt hierüber an Dr. Small (Muirhead I S. 51) und setzte auseinander, dass zu dem Zweck Blockzinn in dünne Platten von $^1/_4$″ Dicke auszubreiten, in genau gleichbreite Streifen zu zerschneiden, aufzurollen und zusammen zu löten sei. Hiernach wurde am 1. Mai 1769 das Weitere veranlasst, und dass die schliessliche Ausführung des 18″ weiten und $5^1/_2$′ langen Cylinders in bezug auf die Wahl und Stärke des Materials

Körperlich leidend, in eine Thätigkeit gedrängt, die ihm durch die Aufsicht und Leitung der Ausführungsarbeiten auch die persönlich unbequemen und widerwärtigen Geschäftsabschlüsse mit Unternehmern zuwies, in Wind und Wetter genötigt, die Streckenarbeiten zu überwachen und Vermessungsarbeiten auszuführen, ferner durch die leidigen Existenzsorgen gezwungen, diese Thätigkeit fortzusetzen, statt sich ungestört der Vollendung seiner eigentlichen Lebensaufgabe zu widmen, schwankt seine Stimmung zwischen zäher Ausdauer, das begonnene Werk zu vollenden, und hoffnungsloser Bereitwilligkeit, dem Ziele seines Lebens zu entsagen.

Erdrückt von der Arbeitslast schreibt er im Frühling

---

dieser Absicht entsprach, folgt aus Watts Brief an Dr. Small vom 21. Oktober 1769 (Muirhead I S. 76). Beck irrt also, wenn er auf S. 515 mitteilt, der in Kinneil anfgestellte Cylinder von 18" Dmr. und 5' Hub sei auf der Hütte zu Carron gegossen, und widerspricht sich ferner selbst, wenn er später auf S. 519 den Cylinderdurchmesser unrichtig nur zu 7" angiebt. Ferner bleibt die Bemerkung auf S. 520, dass der von Wilkinson bezogene neue gusseiserne Cylinder anstelle des alten Zinncylinders eingesetzt sei, für den Leser unverständlich, weil vorher fälschlich immer nur von gusseisernen Cylindern die Rede war. Irrtümlich ist ferner die stets wiederkehrende Schreibweise „Robinson" statt Robison für den Namen des Watt befreundeten Gelehrten. An dieser Stelle ist ferner noch auf den wenig bekannt gewordenen populären Vortrag des Ingenieurs Th. Beck: „James Watt und die Erfindung der Dampfmaschine", hinzuweisen, der 1894 im Ortsgewerbeverein Darmstadt gehalten und im Gewerbeblatt für das Grossherzogthum Hessen 1894 in Heft 10 bis 13 veröffentlicht ist. Th. Beck verfolgt hierin hauptsächlich die Lebensschicksale Watts und die äussere Entwicklung der Fabrik in Soho, anscheinend vorzugsweise unter Benutzung der Wattschen Biographien von Muirhead und von Smiles, deutet aber auch die Marksteine in der Geschichte der Dampfmaschine an, soweit dies ohne Zeichnungen und bei dem populären Charakter des Vortrages möglich ist.

1769 an Small: „Immerhin bin ich entschlossen, alles zu thun, was in meinen Kräften steht, die Sache durchzuführen, und wenn es mir nicht gelingt, werde ich mich der Bürde entledigen, die ich nicht tragen kann.“ [1])

Fast 7 Jahre verbrachte Watt mit so geteiltem Herzen in einer Thätigkeit, die ihm die äusseren Verhältnisse aufzwangen, aber gerade hier bekundete er seine volle Geistesgrösse und seine gewissenhafte Arbeitskraft. Fremd in den einzelnen Aufgaben, die ihm entgegentraten, überwand er trotz seiner inneren Abneigung alle entgegenstehenden Schwierigkeiten, und die wachsende Zahl der Aufträge, die ihn immer fester in die Fesseln einer anderen Lebensrichtung schlugen, zeugt von dem Ruf seiner Tüchtigkeit. Seine Vorarbeiten für den erst im Anfange dieses Jahrhunderts ausgeführten Caledonian-Kanal wurden wegen ihrer Genauigkeit noch von seinen Nachfolgern hoch geschätzt. Mit den Kanalarbeiten waren Tunnel- und Brückenausführungen verbunden, dazu gesellten sich Pläne für Hafenanlagen, für die Vertiefung des Clyde, für eine grosse Strombrücke über den Clyde bei Hamilton, und das alles wurde von ihm geleistet, ohne dass er je zuvor seine Ausbildung in diese Richtung gelenkt hätte.

Nach dem vollständigen Ausscheiden Roebucks aus der geschäftlichen Verbindung im Mai 1773 wurde die in Kinneil aufgestellte Maschine nach Soho geschafft, aber erst ein volles Jahr später konnte Watt sich aus seinen in Schottland für die Kanalbauten übernommenen Verpflichtungen vollständig frei machen und selbst nach Birmingham übersiedeln. Endlich berichtet ein Brief an seinen Vater

---

[1]) Watt an Dr. Small 28. April 1769. Muirhead I S. 56.

aus dem Dezember 1774, dass die in Soho wieder aufgestellte Versuchsmaschine nun geht und den Anforderungen besser, als irgend eine andere vorher entspricht.

Infolge dieses glücklichen Erfolges wurde für die weitere dauernde Benutzung der Maschine zu Versuchs- und Betriebszwecken Anfang Januar 1775 als Ersatz für den bisherigen Cylinder aus Zinn ein neuer aus Gusseisen bestellt und von Wilkinson in Bersham bei Chester im April angeliefert, der damals gerade die bis dahin noch sehr mangelhaften Cylinderbohrmaschinen sehr wesentlich verbessert hatte.[1])

In dieser schliesslichen Ausführung hatte die Maschine etwas über 18" Cylinderbohrung und 5' Dampfkolbenhub, der Luftpumpenkolben 20" Hub bei 7" Dmr. Der Förderpumpenkolben hob bei 18" Dmr. 7,8 Kubikfuss Wasser mit jedem Hub 24 Fuss hoch. Die Ueberdruckspannung des Betriebsdampfes betrug nur 1 bis 3" Quecksilbersäule, während das Vakuummeter des Kondensators um 27" sckwankte. Hiernach giebt Watt den mittleren Arbeitsdruck des Kolbens zu ungefähr 11 lbs für den Quadratzoll an und berichtet, dass die Maschine mit 120 lbs Wednesbury-Kleinkohle zwischen 20 und 30 000 Kubikfuss Wasser 20 Fuss hoch gehoben habe. In der Minute arbeitete die Maschine regelrecht mit 12 Hüben.[2])

Von nun an liefen Aufträge von ausserhalb ein, und schon im April 1776 konnte Watt Smeaton mitteilen, dass

---

[1]) Briefe von Boulton an Watt vom 26. Januar und 24. April 1775, Muirhead II, S. 80 und 84, und Farey S. 326, wo die Wilkinsonsche Bohrmaschine beschrieben ist.

[2]) Vergl. Farey S. 320 Fussnote und die Berichte von Boulton an Watt vom Juni 1775, Muirhead II S. 90 u. f.

eine grosse Wasserhaltungsmaschine von 50" Cylinderdurchmesser in der Nähe von Birmingham und eine Gebläsemaschine für einen Hochofen bei New Willey in Shropshire mit 38" Dampf- und 72" Gebläse-Cylinderdurchmesser und 7' Hub abgeliefert seien, während noch weitere Bestellungen vorlägen.

Wesentlich für die Sicherung der Zukunft war die Verlängerung des Grundpatentes vom Jahre 1769 bis zum Ende des Jahrhunderts, welche Boulton und Watt 1775 nach schweren Kämpfen durch eine besondere Parlamentsakte auf grund des Nachweises durchsetzten, dass die zahllosen Schwierigkeiten und Hindernisse, die Erfindung lebensfähig zu gestalten, die bedeutenden Opfer des Erfinders und der grosse wirtschaftliche Wert für die Allgemeinheit eine längere Frist bedängen, um die gesunde Entwicklung des Unternehmens zu gewährleisten und die Urheber dieses neuen volkswirtschaftlichen Faktors in gebührender Weise für ihre Leistungen zu entschädigen.[1])

Aus dem Juli 1776 ist ein Vertragsentwurf für die endgiltige Vereinigung zwischen Boulton und Watt in Briefform erhalten, der im wesentlichen den früher mit Roebuck abgeschlossenen Bedingungen entsprach. Boulton übernahm alle bisherigen und weiteren Unkosten zusammen mit der geschäftlichen Leitung des Unternehmens und erhielt dafür vertragsmässig zwei Drittel des Reingewinns, während Watt sich zur Uebernahme aller Konstruktionsarbeiten und Versuche verpflichtete und mit dem Anspruch auf den Rest des Reingewinns entschädigt wurde. Das

---

[1]) Die Begründung des Parlamentsbeschlusses in diesem Sinne ist in grösserem Auszuge in Fareys Treatise on the steam engine, S. 318 Fussnote, mitgeteilt.

Schriftstück regelte die jedenfalls spätestens 1773 getroffenen Vereinbarungen in gesetzlich bindender Form. Wir verdanken dieses Dokument über den Geschäftsvertrag der zweiten Verheiratung Watts nach dem Tode seiner ersten Frau, wobei der vorsichtige Schwiegervater eine urkundliche Klarlegung der Geschäftsverbindlichkeiten forderte.

Die Leistungsfähigkeit Watts in Erledigung der schnell aufeinanderfolgenden Aufträge ist ungewöhnlich und bewunderungswert. Anfänglich ohne jede andere Unterstützung als die Boultons, war er Ingenieur und Zeichner, Meister und Monteur in eigener Person, bis ihm in Murdock, einem hervorragend befähigten Arbeiter, der 1777 mit einem anfänglichen Wochenlohn von 15 sh. eingestellt wurde, eine wertvolle Hilfskraft heranwuchs, die sich schliesslich für die Betriebsleitung und die auswärtigen Montirungen von unschätzbarem Werte erwies. Verschiedene der von den Wattschen Maschinen bekannten späteren Konstruktionen rühren von Murdock her, dessen Name vor allem auch durch die Erfindung der Gasbeleuchtung und durch die erste Anlage dieser Art in der Fabrik zu Soho zu den bedeutendsten Trägern der modernen Kulturentwicklung gehört. Unter den sonstigen später leitenden Beamten ist vor allem noch der wissenschaftlich gründlich vorgebildete Southern zu erwähnen, welcher im Herbst 1781 als ganz junger Ingenieur für das technische Bureau engagirt wurde.

Während die eigenen Werkstätten erst fertig gestellt wurden, waren sie schon durch die Arbeiten für Kunden belegt, und hand in hand mit der Herstellung der Maschinen musste die ganze Organisation des neuen Geschäftsbetriebes

entwickelt werden, wofür der Rückhalt bestehender Erfahrungen fehlte. Die nach allen Seiten in Anspruch genommene Arbeitskraft Watts wurde noch durch vielfache Reisen zersplittert, welche notwendig waren, um die Verhältnisse für die bestellten Anlagen an Ort und Stelle zu untersuchen.

Watts Gedankenreichtum war grösser, als die Möglichkeit, den Einzelheiten sofort nach allen Richtungen nachzugehen, und selbst schon frühzeitig vollkommen durchgearbeitete Verbesserungen kamen unter dem Drängen der laufenden Geschäfte zum teil erst Jahre nach ihrer geistigen Entstehung zur Ausführung oder wenigstens zur öffentlichen Benutzung.

So ist der Vorteil, welchen die Ausnutzung der Expansion des Dampfes bietet, und die Möglichkeit, bei Wassermangel mit diesem Hilfsmittel allenfalls auch ohne Kondensator noch wirtschaftlich arbeiten zu können, bereits in einem Briefe an Dr. Small vom 28. Mai 1769 auseinandergesetzt;[1]) aber erst die Versuchsmaschine in Soho bot 1776 Gelegenheit, davon praktisch Gebrauch zu machen und hiernach 1778 eine Maschine für die Shadwell-Wasserwerke in London mit $^2/_3$ Füllung zu bauen.[2])

Das Patent auf die Expansion wurde noch später, 1782, entnommen, als Hornblower, der in Soho gearbeitet und dadurch von der Anordnung Kenntnis erhalten hatte, ein Patent auf eine Zweicylinder-Expansionsmaschine entnahm und durch diesen unlauteren Wettbewerb Watt in seinen geistigen Eigentumsrechten zu schädigen drohte.

---

[1]) Muirhead I S. 62.

[2]) Farey S. 339 und 341.

Der Text der Wattschen Patentschrift enthält die Angabe, dass $^1/_4$ Füllung am empfehlenswertesten sei, weil der Arbeitsgewinn bei weiter gehender Expansion rasch abnimmt und durch die Eigenwiderstände der Maschine aufgezehrt wird.

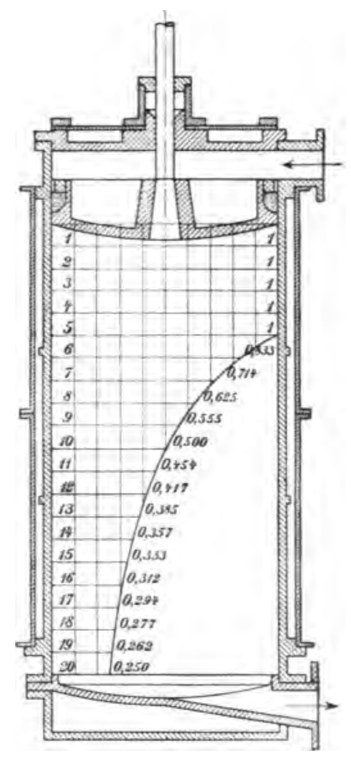


Fig. 14.

Die zur Spezifikation eingereichte Patentzeichnung ist nach dem Original in Fig. 14 wiedergegeben und zeigt, wie auch hier Watt das graphische Verfahren anwandte, um die Gesammtarbeitsleistung durch den Inhalt der von

der Expansionskurve und dem Kolbenweg begrenzten Fläche darzustellen, ganz so, wie das heute noch allgemein üblich ist.

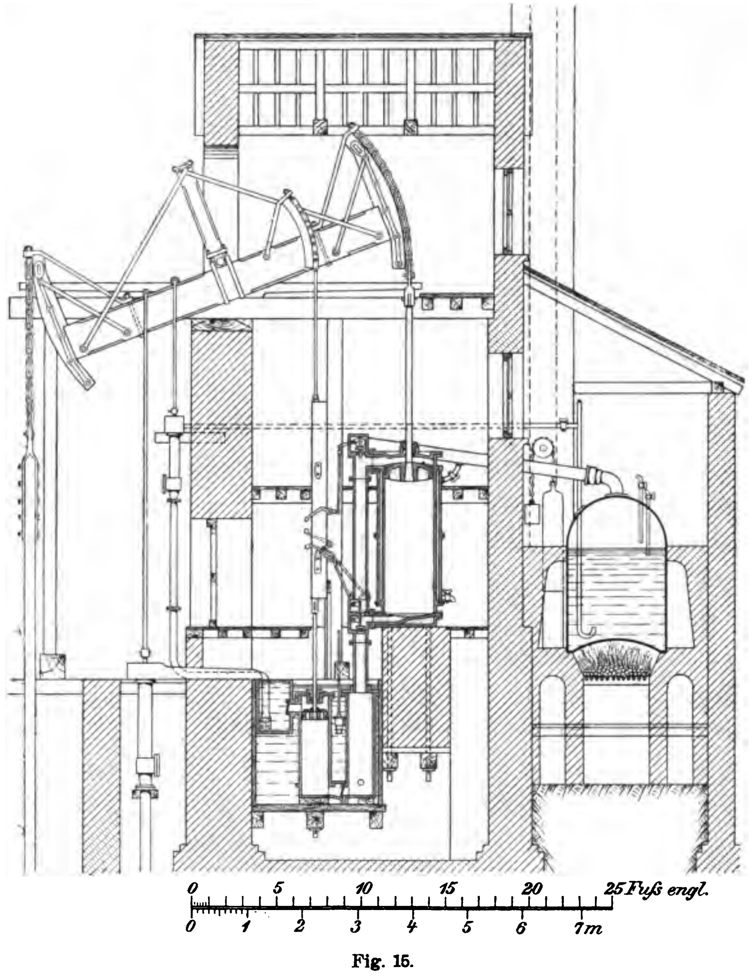


Fig. 15.

Die allgemeine Anordnung, welche Watt für die einfach wirkenden Maschinen zum Betrieb von Pumpwerken

wählte, nachdem die Konstruktion in allen Einzelheiten ausgebildet war, ist in Fig. 15, S. 59 nach den Zeichnungen von Farey wiedergegeben. In diesem Quellenwerk findet sich eine eingehende Beschreibung der Betriebsweise und der Berechnung derartiger Maschinen nach dem damaligen Stande der Wissenschaft. Die Ventile wurden, wie aus der Zeichnung ersichtlich, von einem mit der Luftpumpen-Kolbenstange fest verbundenen senkrechten Steuerbaum durch versetzbare Knaggen bethätigt. Das Ventil am Cylinderkopf dient zur Drosselung des eintretenden Dampfes. Dampfein- und -auslassventil für den unteren Cylinderraum liegen dicht am Cylinderboden im seitlichen Gehäuse übereinander.

Mit den fortschreitenden Erfolgen mehrten sich die Bestrebungen der Konkurrenz, die Patentrechte zu durchbrechen und wichtige Teile der Erfindungen, welche von Soho ausgingen, für sich auszubeuten. Der Gedanke, die zunächst nur mit hin- und hergehender Bewegung für Pumpen ausgeführte Balanciermaschine durch den Kurbelmechanismus für allgemeine Betriebszwecke verwendbar zu machen, lag nahe, da dieser Mechanismus längst bekannt war und für Schleifsteine und Drehbänke mit Fussbetrieb seit unbestimmter Zeit benutzt wurde. Watt selbst bemerkt, dass dessen Uebertragung auf die Dampfmaschine nicht mehr Ueberlegung erfordert habe, als wenn jemand ein Brotmesser zum erstenmal benutzt, um Käse zu schneiden. Er hatte schon 1778/79 das Modell einer zweicylindrigen Dampfmaschine mit zwei um 120° gegen einander versetzten Kurbeln anfertigen lassen, in der Absicht, auf diesem Wege mit passend verteilten Gegengewichten eine möglichst gleichmässige Drehbewegung zu erzielen; der

Arbeiter verriet diese Ausführung einem Maschinenfabrikanten Washborough, und dieser beseitigte darauf hin bei einer von ihm in Birmingham aufgestellten Newcomenschen Maschine, welche mit Klinkwerk und Schwungrad zur Verwandlung der schwingenden Balancierbewegung in eine rotirende versehen war, das vielfachen Reparaturen ausgesetzte Klinkwerk und benutzte statt dessen die einfache Kurbel. Im folgenden Jahre wurde von Pickard in Birmingham ein Patent auf den Mechanismus entnommen, und damit war Watt gehindert, seinen eigenen Gedanken frei zu benutzen.[1])

Es ist weiterhin von Interesse, dass die Verwendbarkeit des gewöhnlichen Kurbelmechanismus für die einfach wirkenden atmosphärischen Maschinen und Dampfmaschinen der damaligen Zeit selbst anerkannt erfahrenen und klar urteilenden Ingenieuren Bedenken erregte, weil vorzüglich die atmosphärischen Maschinen nicht selten bei unzureichendem Dampf oder plötzlich vermehrten Arbeitswiderständen mitten im Hub aussetzten. Für den gewöhnlichen Betrieb der Pumpen hatte dies nichts zu sagen, weil die Maschinen hierbei nach genügender Wiederansammlung von Dampf aus der Haltstellung selbstthätig angingen, während die Totpunktlagen des Kurbelmechanismus die Befürchtung eines vollständigen Stillstandes hervorriefen, falls eine solche Störung im regelmässigen Gange gerade hiermit zusammenfiel.

Im übrigen waren auch die geometrischen Eigenschaften des Kurbelmechanismus mit den Geschwindigkeitsabnahmen an den Hubgrenzen der linearen Bewegung

---

[1]) Briefe über diese Angelegenheit von Watt an Boulton April 1781, Muirhead II S. 128, und weitere Angaben in Farey S. 409.

während gleichförmiger Umdrehungsgeschwindigkeit nicht genügend durchforscht, und man scheute bei den unklaren Vorstellungen zum teil vor eingebildeten Gefahren zurück, die aus dem Gleichförmigkeitsbestreben grosser Schwungräder in Verbindung mit der wechselnden Kolbengeschwindigkeit hervorgehen könnten. Solchen Erwägungen war unzweifelhaft das oben erwähnte Klinkwerk von Washborough für den Antrieb der Schwungradwelle entsprungen, welches dem Schwungrade freien Weiterlauf beim Verlangsamen und Stoppen des Kolbens gestattete, und hieraus erklärt sich ferner das zähe Festhalten einzelner Konstrukteure an der Vereinigung von atmosphärischen oder Dampfmaschinen mit Wasserrädern bei mangelndem Betriebswasser, wobei die Feuermaschine als Pumpmaschine das Wasserrad beaufschlagte und letzterem nur die Rolle des Kurbelmechanismus zufiel, um den rotirenden Antrieb der weiteren Krafttransmission zu übernehmen.

So warnte Smeaton, der bedeutendste zeitgenössische Ingenieur Watts, der eine grosse Anzahl von Wasserrädern und von Newcomenschen Maschinen entwarf — und nebenbei bemerkt, durch die Erbauung des Eddystone-Leuchtturmes besonders berühmt geworden ist —, noch 1781 in einem Gutachten vor der Verwendung des Kurbelmechanismus in Verbindung mit einer Dampfmaschine zum Betrieb von Mühlen und verwies auf das bisherige Mittel, zu dem Zweck ein von der Dampfmaschine, als Pumpmaschine, betriebenes Wasserrad einzuschalten.[1]) Auch Watt selbst

---

[1]) Farey S. 409 und 413, Fussnoten. Eine vollständige Lebensbeschreibung von Smeaton hat Smiles geliefert, welche 1891 in einem Bande mit Rennies Biographie in zweiter Auflage in London erschienen ist.

bekennt in einem Briefe vom 10. November 1808 an seinen Sohn, dass er erst aus seinen eigenen Ausführungen einen vollständigen Einblick in die günstigen Wirkungen des Kurbelmechanismus hinsichtlich seiner Verbindung mit dem Dampfkolben gewonnen habe und ebenso die regulirende Kraft des Schwungrades anfänglich nicht ganz nach ihrem vollen Werte würdigte,[1]) wie das auch unzweifelhaft aus den verschiedenen Hilfskonstruktionen hervorgeht, die er in das Patent für die Expansion aufnahm, um die Gleichförmigkeit des Maschinenganges durch bewegliche Gegengewichte und andere verwickelte Anordnungen zu sichern.

Der zweifelhafte Erfolg, durch einen Patentprozess sein Vorrecht zu erstreiten, veranlasste Watt, anstelle des mit Beschlag belegten Kurbelmechanismus auf andere Mittel zu sinnen, um die hin- und hergehende Bewegung in eine ständig drehende zu verwandeln. Von den fünf ihm 1781 patentirten Mechanismen wandte er in der Folge nur das durch ihn bekannt gewordene Planetenräderwerk an, dessen eigentlicher Erfinder Murdock ist.[2])

Die vorstehend erörterten Verhältnisse erklären die Einführung des verwickelten und starkem Verschleiss ausgesetzten Mechanismus, welcher der einfachen Kurbel gegenüber nur den einen Vorteil bot, durch seine Uebersetzung die Umdrehungszahl der Welle auf das Doppelte zu steigern und dadurch das erforderliche Gewicht der Schwungräder erheblich zu vermindern. Als das Kurbelpatent erloschen war, kehrte die Sohoer Fabrik zu der einfacheren Konstruktion zurück.

---

[1]) Muirhead III S. 37 Fussnote.

[2]) Smiles: Boulton and Watt, S. 245 Fussnote.

In der Patentschrift vom Jahre 1782 findet sich nach der Expansion auch die doppelt wirkende Maschine mit wechselndem Dampfzufluss für beide Kolbenseiten, während der gegenüberliegende Cylinderraum durch die Steuerung ebenso wechselnd jedesmal mit dem Kondensator verbunden wird. Zur Kraftübertragung vom Kolben auf den Balancier waren an den Enden verzahnte Kolbenstangen im Eingriff mit verzahnten Bogensegmenten an den Balancierköpfen vorgesehen, die sich aber in der Ausführung, wie leicht erklärlich, nicht bewährten und zu weiteren Verbesserungen drängten. Der Gedanke der doppelt wirkenden Maschine war schon 1774 gefasst und zunächst nur durch andere Aufgaben zurückgedrängt.[1])

Bei der unbefriedigenden Wirkung des Zahnstangenwerkes, das stossend arbeitete und sich rasch abnutzte, ist in dieser Weise nur eine einzige Versuchsmaschine in Soho ausgeführt, während in dem nächsten Jahre noch alle bestellten Schwungradmaschinen einfach wirkend mit starken Gegengewichten gebaut und zum teil erst später in doppelt wirkende umgewandelt wurden.

Die erste einfach wirkende Rotationsmaschine von 1782 diente zum Betrieb eines Schwanzhammers in Soho. Ihr folgte Ende des Jahres eine an Reynolds in Ketley gelieferte Betriebsmaschine für eine Kornmühle, sowie weitere für eine Anzahl von Brauereien in London.[2])

Erst durch die Erfindung der 1784 patentirten Gelenkgeradführung für die Kolbenstange mittels Storchschnabel-Parallelogrammes und Lemniskatenlenkers erhielt die doppelt wirkende Maschine die für den Betrieb geignete Aus-

---

[1]) Farey S. 428.

[2]) Farey 434; Smiles S. 258 u. f.; Muirheard II S. 163 u. f.

führung. Watt selbst betrachtete diesen für die Balanciermaschinen äusserst wertvollen Mechanismus als eine seiner Lieblingsschöpfungen. Er schrieb später, im Jahre 1808, seinem Sohne darüber: „Though I am not over anxious after fame, yet I am more proud of the parallel motion than of any other mechanical invention I have ever made“.

Die Patentschrift vom Jahre 1784 enthält ausserdem einige andere Geradführungen, den Entwurf zu einem mit dem Balancier der Dampfmaschine verbundenen Stiel-Wurf-

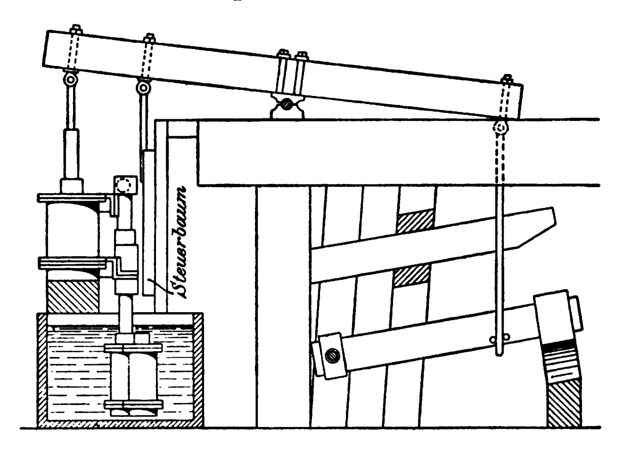


Fig. 16.

hammer, Fig. 16, eine mit Dampf zu betreibende Turbine und endlich auch noch den ersten von Murdock herrührenden Entwurf zu einem Dampfwagen. Wichtiger ist die selbstthätige Regulirung des Dampfzuflusses durch Drosselklappe und Zentrifugalregulator und schliesslich auch die noch aus demselben Jahre stammende Einführung des Begriffes der mechanischen Pferdestärke, welche Watt als Masseinheit für die Leistung seiner Maschinen wählte, als an die Stelle der unmittelbar zu messenden Pumpenleistung

die Verwendung für allgemeine Betriebszwecke trat, denen bis dahin vorzugsweise der Göpel gedient hatte.

Ferner lenkte Watt seine Aufmerksamkeit auch noch auf die Verbesserung der Kesselfeuerungen mit dem Bestreben, rauchfreie Verbrennung zu erzielen. Ein 1785 entnommenes Patent entsprach in der Anwendung der ge-

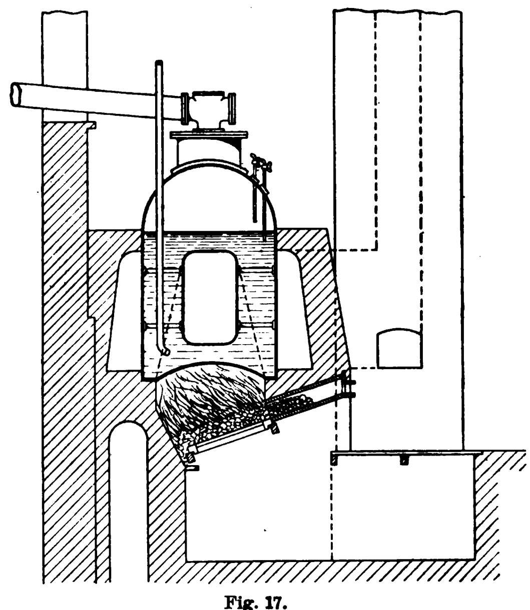


Fig. 17.

hegten Erwartung zwar nicht, bildete aber immerhin den Ausgangspunkt, die Sache weiter zu verfolgen. Fig. 17 veranschaulicht nach einer Ausführung für die Kesselanlagen der Albion Mills in London die schliesslich gewählte Anordnung mit schrägem Füllschacht und schrägem Rost;[1]) bei vorsichtiger Bedienung und nicht backenden Kohlen

[1]) Figur aus dem Atlas zu Robisons Mechanical Philosophy, Bd. II Tafel VI.

blieb die Rauchbildung hier wenigstens wesentlich beschränkt, wenn der frische Brennstoff langsam auf dem Rost vorgeschoben und dadurch plötzlicher Temperaturwechsel vermieden wurde, sodass sich die frisch entwickelten Gase unter dem Einfluss der Weissglut des allmählich verkokten Materials entzündeten, welches die tiefer liegenden Teile des Rostes bedeckte. Der Gedanke, die Heizfläche durch Hinzufügen innerer Feuerzüge zu den anfänglich nur benutzten äusseren zu vergrössern, ist von Watt schon 1765 in einer Skizze niedergelegt,[1] und findet sich in demselben Jahre bereits in Verbindung mit einer ganz innen liegenden Feuerung bei einer von Smeaton entworfenen transportabeln Newcomenschen Maschine.[2] Auch Boulton, der sich vielfach mit den Kesselkonstruktionen abgab, hatte Kessel mit Feuerrohren ausgeführt.[3]

Zu den sonstigen Verbesserungen der Kesselanlagen gehört die selbstthätige Regelung des Speisewasserzuflusses durch Standrohr und Schwimmerventil, sowie die ebenfalls durch Schwimmer vermittelte selbstthätige Verstellung des Fuchsschiebers zum Regeln der erforderlichen Luftzufuhr für den Rost.[4]

Die erste kleine doppeltwirkende Maschine mit Parallelogramm wurde 1785 für Whitbread in London geliefert, und Watt berichtete darüber an Boulton, dass die Geradführung vorzüglich arbeite.[5] Ihr folgten bald die 50pferdigen Betriebsmaschinen für die ersten grossen Dampf-

[1] Muirhead I S. 11.

[2] Farey S. 259 mit Tafel IX.

[3] Smiles: Boulton and Watt, S 223.

[4] Zeichnungen hiervon finden sich in Rühlmann, Allgemeine Maschinenlehre, 1875 I S. 516.

[5] Brief vom 27. Okt. 1785 an Boulton, Smiles S. 265 Fussnote.

mühlen, die Albion Mills in London, welche in den Jahren 1786 und 1789 aufgestellt, die Mustermaschinen für weitere Ausführungen wurden. Zeichnungen dieser Maschinen finden sich in Robisons Mechanical Philosophy, Bd. II Taf. V

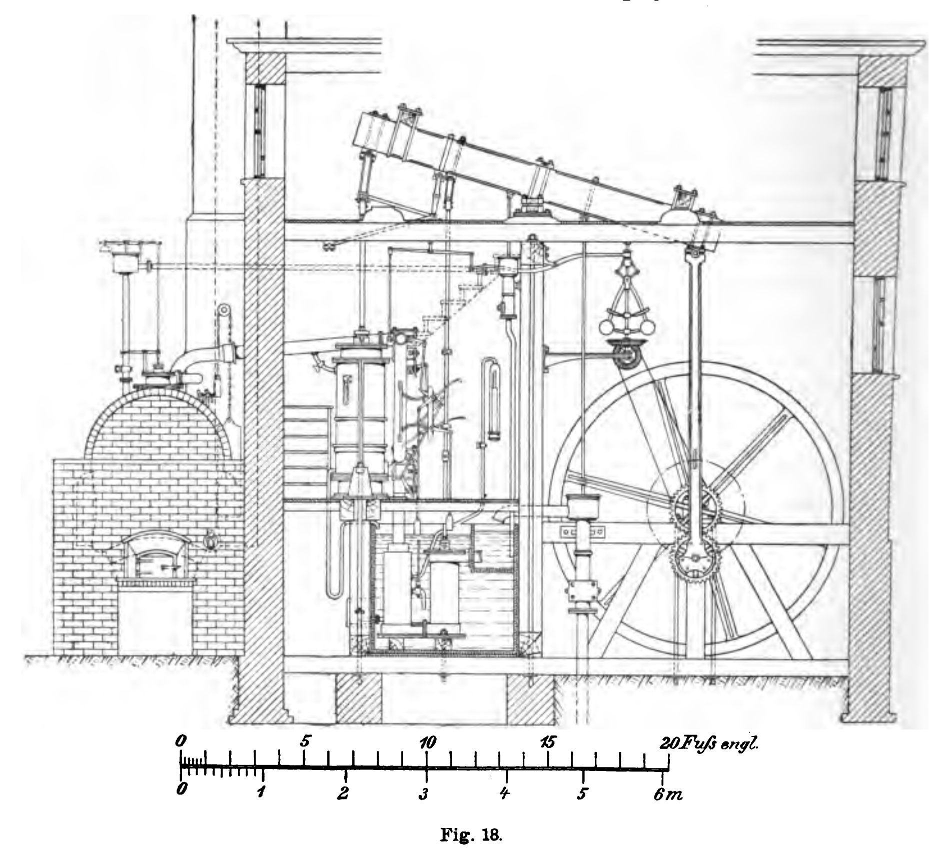


Fig. 18.

bis VII. Den hierfür gewählten Konstruktionsformen entsprechen auch die aus Farey aufgenommenen Zeichnungen einer kleineren Maschine, Fig. 18 und 19, S. 68 u. 69, von 10 PS, mit der dazu gehörigen Kesselanlage, Fig. 20 und 21, S. 70.

Ueber die Arbeitsweise der doppeltwirkenden Schwungradmaschinen macht Farey folgende Angaben:[1]) Einspritzwasser 50 ° F., Ablaufwasser aus dem Kondensator 100 ° F., Vakuum im Kondensator 27" Quecksilbersäule, grösstes Vakuum im Cylinder gegen Ende des Kolbenhubes 13 lbs

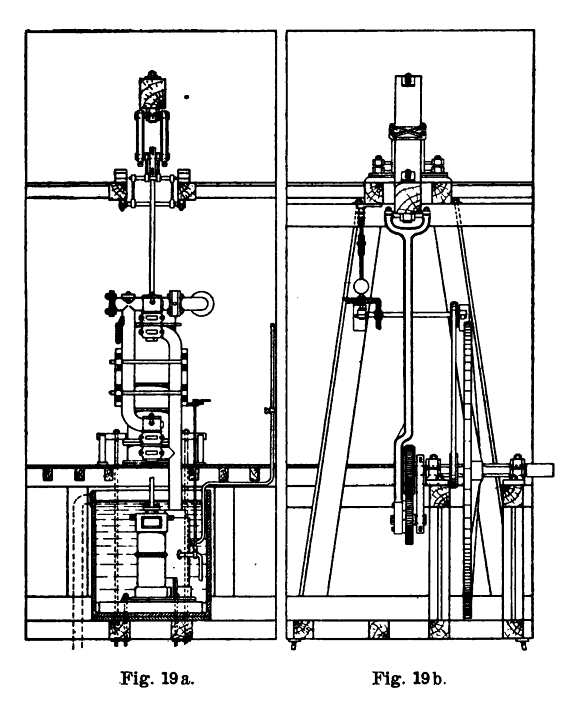


Fig. 19 a. Fig. 19 b.

auf den Quadratzoll weniger als der Atmosphärendruck, bei ungefähr 10 $^3/_4$ lbs mittlerem Vakuum, d. i. 0,827 des schliesslichen. Der mittlere Dampfdruck im Dampfcylinder beträgt 2 lbs auf den Quadratzoll weniger als der Atmosphärendruck, und somit der wirksame Kolbendruck $10^3/_4 - 2 = 8^3/_4$ lbs. Der Betrag der Reibungswiderstände wurde zu 1 $^3/_4$ lbs auf

[1]) Farey S. 487.

den Quadratzoll Kolbenfläche angenommen, sodass im ganzen 7 lbs auf den Quadratzoll nutzbarer Arbeitsdruck übrig blieben, ein Wert, den Watt seinen Entwürfen meist zu

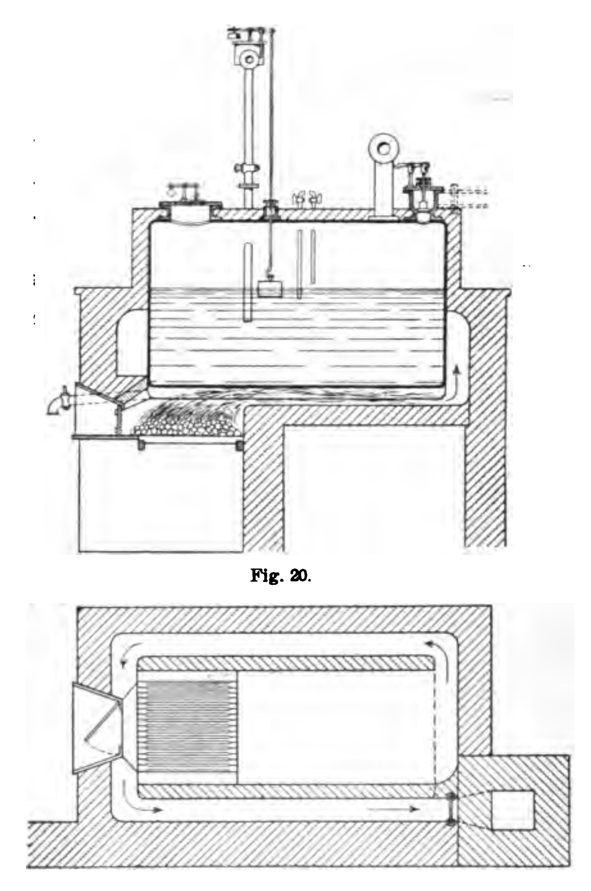


Fig. 20.

Fig. 21.

grunde zu legen pflegte. Die Drosselklappe wurde bei normaler Belastung auf ziemlich engen Durchlass eingestellt und die Kesselspannung auf 1 bis 1 $^1/_2$ lbs Ueberdruck ge-

halten, um einen ausreichenden Ueberschuss zu haben, wenn der mittlere Arbeitsdruck bei stärkerer Maschinenbelastung durch weiteres Oeffnen der Drosselklappe gesteigert werden sollte. Die Maschinen arbeiteten ohne Expansion, und ihr Nutzeffekt war infolgedessen geringer, als bei den einfach wirkenden Pumpmaschinen.[1])

Im allgemeinen blieb die Verwendung der Dampfcylinder mit doppelt wirkendem Kolben auf die Schwungradmaschinen beschränkt, die nach dem durchschlagenden Erfolg der Anlage in den Albion Mills schnell in den verschiedenartigsten Unternehmungen, in Spinnereien und Walzwerken, in Brauereien, Oelmühlen usw. Eingang fanden; in einzelnen Fällen wurden aber auch doppelt wirkende Maschinen für direkten Pumpenbetrieb bei besonders tiefen Schachtanlagen ausgeführt, um durch Aufstellung von zwei Schachtpumpen neben einander mit entgegengesetztem Kolbenlauf das Eigengewicht der Pumpengestänge gegenseitig auszugleichen, indem die Gestänge zu verschiedenen Seiten der Balancierachse angeschlossen wurden. Die grösste Anlage dieser Art war eine 1787 für die Wheal Maid-Grube in Cornwall aufgestellte Maschine mit 63" Dampfcylinderdurchmesser, 9' Kolbenhub und 7' Pumpenkolbenhub bei 18" Dmr.

Mit der Verbreitung der Maschinen in Grossbritannien entwickelte sich auch die Ausfuhr nach dem Festlande und nach den englischen Kolonien, wo sie zum Betrieb von Zuckerfabriken dienten.

Schon 1777 trat der Franzose Perrier, der ein Privilegium erworben hatte, Paris mit Wasser aus der Seine zu

[1]) Vergl. Farey S. 367 und Fussnoten zu S. 366 und 487, sowie die eingehende Beschreibung der Steuerung S. 460.

versorgen, durch Wilkinson mit Watt wegen der Lieferung der Pumpmaschinen in Verhandlungen, die sich mehrere Jahre hinzogen, weil Perrier als Ausländer die Patentprämie nicht zahlen wollte, und Watt anderseits bemüht war, sich erst den Schutz der französischen Regierung für den Vertrieb und die alleinige Ausführung seiner Maschinen in Frankreich zu sichern. Dieses Privilegium wurde gegen Ende 1778 erteilt, aber, nach Massgabe der französischen Bestimmungen, unter dem Vorbehalt, dass zunächst noch durch eine in Frankreich in Betrieb zu setzende Maschine der Nachweis für die Vorzüge der neuen Konstruktion, gegenüber der älteren Newcomenschen, erbracht werde, welche auch schon bald nach ihrer Ausbildung in England von dort Eingang gefunden hatte. Infolgedessen traten Boulton und Watt Anfang 1779 mit einem gewissen Jary in Verbindung, der sich bereit fand, eine Versuchsmaschine für eine Kohlengrube bei Nantes aufzustellen.[1]) Aus den Wattschen Briefen geht nicht mit voller Sicherheit hervor, ob die Fabrik in Soho nur die Zeichnungen für die erwähnten Anlagen lieferte oder auch die Maschinenteile selbst ausführte. Andere Mitteilungen lassen jedoch keinen Zweifel darüber, dass auch letzteres geschah, und dass die zur Wasserversorgung von Paris 1780 an der Seine in Chaillot und in Gros Caillou in Betrieb gesetzten Maschinen von Perrier, dem Begründer der ersten Dampfmaschinenfabrik in Paris, nur aufgestellt wurden. Die unbefriedigende Leistung dieser Maschinen, über welche Watt selbst auf grund der Mitteilungen von De Luc an Boulton berichtet,

---

[1]) Vergl. den Briefwechsel von Watt über die ganze Angelegenheit in Muirhead II, S. 104, 110, 112, 113, 114 u. 121.

war jedenfalls hauptsächlich durch Perriers Unerfahrenheit veranlasst, der auf die Expansion verzichtete und auch anfänglich verabsäumt hatte, den äusseren Cylinder für den Dampfmantel einzubauen.[1]) Prony hat die ganze Anlage im zweiten Bande seiner Nouvelle architecture hydraulique eingehend beschrieben und durch Zeichnungen erläutert. Er erweckt den Eindruck, als sei Perrier der Konstrukteur gewesen, aber schon Stuart wendet sich in seiner 1825 in dritter Auflage erschienenen History of the steam engine auf S. 140 mit scharfer Bestimmtheit gegen diese französische Anmassung, und auch Farey teilt, im Gegensatz zu seinen früheren Angaben in Rees Encyclopaedia, in seinem später 1827 veröffentlichten Werk „A treatise on the steam engine" auf S. 655 mit, dass um das Jahr 1780 die Teile zu einer grossen Maschine von Soho nach Frankreich geliefert und dort von Perrier in Chaillot zusammengesetzt wurden. Die ersten Schwungradmaschinen baute Perrier in seiner Giesserei 1785.[2])

Auffallend früh fand die neue Erfindung in Russland, vermutlich durch den vorübergehenden Aufenthalt des Watt befreundeten Professor Robison in Petersburg, Beachtung, und nachdem schon 1775 ein vergeblicher Versuch gemacht war, Watt selbst durch Angebot eines Jahresgehaltes von 1000 Lstr. zu gewinnen, veranlasste die Kaiserin Katharina 1786 den Direktor der Carron Iron Works Gascoigne mit einem Stamm schottischer Arbeiter zur Uebersiedlung und Gründung einer Dampfmaschinenfabrik.[3])

---

[1]) Watt an Boulton 29. Oktober 1782, Muirhead II, S. 162.
[2]) Watt an Boulton 11. August 1785, Muirhead II S. 203.
[3]) Muirhead II, S. 82; Farey, S. 655.

Die erste ausschliesslich aus deutschem Material und von deutschen Arbeitern hergestellte Niederdruckdampfmaschine mit Kondensator wurde nach 1782 von dem damaligen Bergassessor, späteren Ober-Bergrat Bückling, auf grund seiner Studien in England als Wasserhaltungsmaschine für Hettstädt im Mansfeldischen entworfen und dort 1785 dem Betrieb übergeben. Diesen geschichtlich denkwürdigen Ort schmückt jetzt bekanntlich das vom Vereine deutscher Ingenieure errichtete Erinnerungsdenkmal,[1]) bei dessen festlicher Uebergabe im Jahre 1890 eingehend über die Entwicklungsgeschichte der Anlage berichtet wurde.[2]) Darüber, ob Boulton und Watt überhaupt je eine Originalmaschine aus ihren eigenen Werkstätten nach Deutschland geliefert haben, scheinen zuverlässige Angaben bisher nicht vorzuliegen. Es hat den Anschein, als ob sich der Dampfmaschinenbau hier frühzeitig unter dem Einfluss von Bückling und durch die

---

[1]) Das Denkmal trägt die Inschrift: „Am 23. August 1785 kam an dieser Stelle, dem König Friedrich Schachte, zum erstenmale eine aus deutschem Material und von deutschen Arbeitern hergestellte Feuermaschine in Betrieb zu dauernder gewerblicher Benutzung.“

[2]) Z. d. V. d. Ing. 1890 S. 1280. Zur Ergänzung dieses Berichtes, in welchem der damalige Festredner selbst das Fehlen eines Anhalts für den Kohlenverbrauch der Anlage im Verhältnis zur Leistung bedauert, ist darauf hinzuweisen, dass Severin in den Abhandlungen der Königl. Technischen Deputation für Gewerbe, Berlin 1826, Teil I, S. 88, mit Vorbehalt hinsichtlich der Zuverlässigkeit seiner Quelle mitteilt, die Hettstätter Maschine habe mit einem Dampfcylinder von 33 Zoll Durchmesser und etwa 12 Fuss Höhe täglich 24 Dresdener Scheffel Steinkohle erfordert, um in 24 Stunden 98000 Kubikfuss Wasser 333 Fuss hoch zu fördern. Die täglichen Unterhaltungskosten werden hiernach zu 50 Rthlr. berechnet. Die ganze Anlage soll 30000 Rthlr. gekostet haben.

gleichzeitige, umfassende Konstruktionsthätigkeit des Maschinenmeisters Holzhausen in Gleiwitz, wenn auch unter Benutzung englischer Vorbilder, verhältnismässig selbständig entwickelt hat. In der Zusammenstellung, welche Severin in den Abhandlungen der Königl. Technischen Deputation für Gewerbe, Berlin 1826, S. 313, über die zu jener Zeit im preussischen Bergwerksbetrieb aufgestellten 77 Wasserhaltungs- und Förderdampfmaschinen giebt, sind nur zwei als englische bezeichnet; fünf stammten von Cockerill in Seraing; eine von Perrier in Paris, und von einer anderen war der Ursprung unbekannt. Alle übrigen sind aus deutschen Werkstätten hervorgegangen, von denen Joh. Dinnendahl in Mülheim und Franz Dinnendahl in Essen, Harkort, Thomas & Cie. in Wetter, Englerth, Reuleaux & Dobbs in Eschweilerpumpe, sowie Freund in Berlin namhaft gemacht werden. Unter diesen Maschinen waren mit Einschluss einer der beiden englischen, deren Erbauer nicht näher angegeben sind, 6 noch nach Newcomenscher Art ausgeführt. Severin erwähnt weiter einige Privatanlagen von Fabriken mit Dampfbetrieb, aber auch hierbei nur zwei mit englischen Maschinen und darunter keine aus Soho. Von den deutschen Firmen, die sich zu jener Zeit schon mit dem Dampfmaschinenbau befassten, werden in dem Bericht, ausser den bereits aufgeführten, Aston in Magdeburg, Schottelius in Oberschlesien, Schmahel bei Berlin und Egells in Berlin genannt und verschiedene deutsche Patente kurz besprochen.

Ganz besondere Beachtung verdient die Sorgfalt in der Geschäfts- und Betriebsleitung der Sohoer Werke. Alle Ausführungszeichnungen wurden kopirt, um stets Ersatz-

exemplare zur Hand zu haben.[1]) Die wissenschaftlichen Forschungen wurden fortgesetzt und durch zahlreiche Versuche mit ausgeführten Maschinen ergänzt. Neue Maschinentypen wurden in der Werkstatt fertig aufgestellt und im Betrieb geprüft, bevor sie zur Ablieferung gelangten,[2]) ganz abgesehen von den dauernd im eigenen Betrieb vorhandenen Maschinen, die auch zu den verschiedensten Versuchszwecken dienten. Ueberall trat die Ermittlung des Kohlenverbrauches für die Nutzleistung in den Vordergrund, und das um so mehr, als Boulton & Watt ihre Lieferungsverträge anfänglich so abschlossen, dass sie sich von den Abnehmern $^1/_3$ der Kohlenersparnis, welche ihre Maschinen im Vergleich zu den atmosphärischen Feuermaschinen bei gleicher Leistung gewährten, als Patentprämie zahlen liessen. Dieses Vorgehen hatte die wertvolle Erfindung des selbstthätigen Hubzählers zur Folge, der auch für wissenschaftliche Dauerversuche Verwendung fand, zunächst aber als Kontrollapparat für die Arbeitsleistung der verkauften Maschinen diente, um auf grund der Abnahmeversuche über den Kohlenverbrauch aus der späteren Betriebszeit oder richtiger aus der Hubzahl die Kohlenpatentprämie berechnen zu können. Von diesen Zählwerken sind noch zwei verschiedene Ausführungen mit sprungweisem und mit stetigem Eingriff der einzelnen Zahnräder erhalten, die eine in dem einstigen Wohnhause Watts, in Heathfield Hall zu Handsworth bei Birmingham, die andere im South Kensington Museum.[3])

---

[1]) Farey S. 647 Fussnote.

[2]) Farey S. 434 Fussnote. Briefe Watts an Boulton, Muirhead II, S. 164 bis 178.

[3]) Farey liefert auf S. 520 nur eine Beschreibung des zweiten

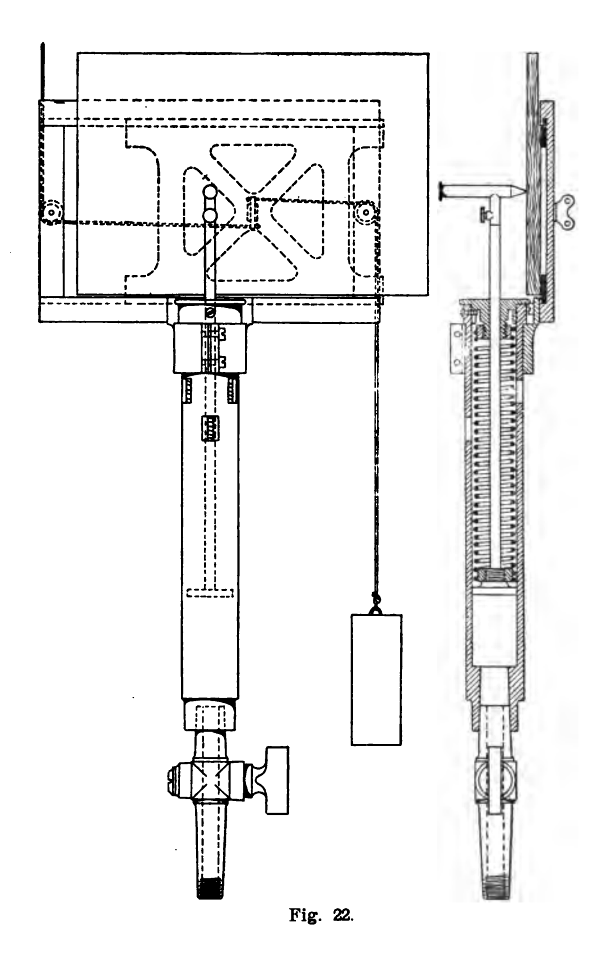


Fig. 22.

Dass auch der Federindikator von Watt erfunden wurde, um einen Einblick in die Arbeitsvorgänge des Dampfes innerhalb des Dampfcylinders zu gewinnen, ist

Hubzählers. Abbildungen von den beiden oben erwähnten Exemplaren finden sich in den Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, November 1883, Tafel 78 und 79, mit kurzem Text auf S. 617.

bekannt und wird sowohl in Robisons Mechanical Philosophy, wie in Fareys Treatise on the steam engine mitgeteilt; aber es fehlen sowohl genauere Angaben über den Zeitpunkt der Erfindung, wie über den Urheber des zugehörigen Schreibmechanismus mit der beweglichen Tafel.[1]) Vielleicht rührten diese Ergänzungen von M'Naught her; wenigstens findet sich in der Encyclopaedia Britannica in dem Artikel Steam-Engine die Angabe, dass dieser den Indikator verbessert, aber den Schreibstift noch ohne die von Richards zuerst benutzte Hebelübersetzung unmittelbar mit dem Indikatorkolben verbunden habe. Watt selbst beschreibt in seinen 1814 verfassten Ergänzungen zu der späteren Ausgabe Brewsters von Robisons Werken ganz kurz und ohne Zeichnung nur die ursprünglich von ihm gewählte Ausführungsform, bei der die wechselnden Dampfpressungen durch einen mit der Indikatorkolbenstange verbundenen Zeiger auf der Skala einer feststehenden Tafel angegeben wurden,[2]) also bloss während des Vorganges unmittelbar mit dem Auge verfolgt werden konnten, aber schon Farey spricht 1827 die Vermutung aus, dass die weitere, damals mindestens schon 25 bis 30 Jahre benutzte Verbesserung, deren Urheber er nicht habe ermitteln können, nur deswegen an dieser Stelle von Watt nicht erwähnt sei, weil sie vielleicht nicht von ihm herrührte, und weil Watt das Robisonsche Werk lediglich in bezug auf seine eigenen Arbeiten und Erfindungen ergänzte und berichtigte[3]).

---

[1]) Vergl. Farey S. 485 Fussnote.

[2]) Robison Mechanical Philosophy 1822 II.

[3]) Für diese Auffassung spricht die eigene Erklärung Watts in seinem Briefe an Brewster vom Mai 1814, der als Einleitung

Ebenso findet sich in einem Aufsatz vom Juni 1822 aus dem Quarterly Journal of Science usw. im Repertory of Arts No. 241, S. 14,[1]) also nur drei Jahre nach Watts Tode der Indikator mit beweglicher, vom Kreuzkopf der Maschine durch Schnurzug hin- und hergezogener Schreibtafel abgebildet, beschrieben und kurzweg als von Watt erfunden bezeichnet, mit dem Zusatz, dass das Instrument anscheinend zwar noch nie in der technischen Litteratur eingehend behandelt, aber den Mechanikern längst bekannt sei. Diese Quelle verdient auch um deswillen ganz hervorragende Beachtung, weil der Aufsatz gleichzeitig über die Benutzung des Indikators berichtet, bei einer in Glasgow vorhandenen Anlage durch ihn den Einfluss der Verwendung verschiedener Schmierfette — Klauenfett, Rüböl und Wallrat — auf die Reibungsverluste und damit auf die Nutzleistung der Dampfmaschine ziffernmässig festzustellen. — Das geschah im Jahre 1822!

Der dazu gebrauchte Indikator entspricht der Fig. 22, S. 77:[2])

---

zum 2. Bande der Brewsterschen Ausgabe von Robisons Mechanical Philosophy 1822 abgedruckt ist. Watt sagt hier (S. V) mit bezug auf seine Beiträge zu diesem Werk:

„I have not attempted to render Dr. Robison's memoir a complete history of the Steam-Engine; nor have I even given a detailed account of my own improvements upon it. The former would have been an undertaking beyond my present powers, and the latter must much have exceeded the limits of a commentary upon my friend's work. I have therefore confined myself to correcting such parts as appeared necessary, and to adding such matter as he had not an opportunity of knowing."

1) Hieraus auch übergegangen in Dingler, 1822 Bd. VIII S. 293 mit Fig. 47 bis 49 auf Tafel IV.

2) Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers November 1883, Fig. 20 und 21 Tafel 65.

Die Unverwendbarkeit der Quecksilbersäule zum Messen der Druckschwankungen im Arbeitscylinder hatte Watt bereits im Jahre 1768 kennèn gelernt, als infolge des plötzlichen Druckwechsels das Quecksilber aus einem vermutlich zu nah am Cylinder angebrachten Vakuummeter,

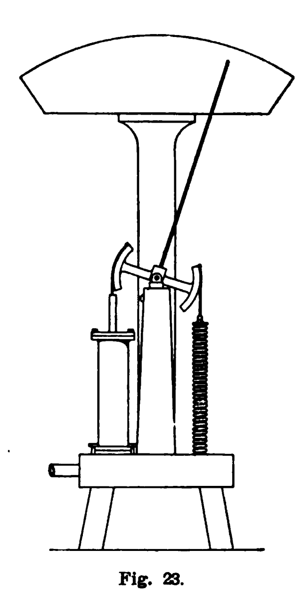


Fig. 23.

mit dem er die Luftverdünnung im Kondensator bestimmen wollte, teilweise in den Cylinder entwich. Er wählte dann aushilfsweise für die Fortsetzung des unterbrochenen Versuchs den rohen Ausweg, die Spannung im Kondensator durch die Gewichtsmasse zu ermitteln, welche ausreichte, den Luftpumpenkolben aufwärts zu bewegen.[1]) Im übrigen kehrte Watt bei den Spannungsbestimmungen im Kondensator zum Quecksilber-Vakuummeter zurück,

[1]) Brief von Watt an Roebuck vom 27. April 1768, Muirhead I, S. 20.

aber eine weitere Vervollkommnung in der eben angedeuteten Richtung findet sich noch in dem Apparat Fig. 23,[1]) der als Vakuum-Indikator bezeichnet wird und unzweifelhaft den Uebergang zu dem ersten Dampfcylinder-Indikator bildet, so wie er nach der eigenen Beschreibung von Watt anfangs ausgeführt wurde. In Fig. 23 ist bereits der selbständige Indikatorcylinder vorhanden, der auf dem Gefäss befestigt wird, dessen innere Druckverhältnisse gemessen werden sollen. Der atmosphärische Kolbendruck spannt die Feder, welche durch den doppelarmigen Zwischenhebel mit der Kolbenstange in Verbindung steht. Die hierbei ausgeübte Kraft wird auf dem Skalenbogen durch einen schwingenden Zeiger angegeben, während Watt später die Zwischenübersetzung beseitigte und die Spiralfeder mit dem einen Ende unmittelbar am Indikatorkolben, mit dem anderen in geeigneter Höhe darüber am Gestell befestigte und die bogenförmige Skala durch eine senkrechte ersetzte, vor der die Kolbenstange mit einem Weiser auf- und niederglitt. Dadurch wurde gleichzeitig der weitere Uebergang zur Aufzeichnung des Arbeitsdiagrammes mit den senkrechten Druckordinaten und den Hauptkolbenwegen als Abscissen erleichtert. Es liegt die Vermutung nahe, dass Watt sein schon weit früher entworfenes theoretisches Expansionsdiagramm, Fig. 14, S. 58 vorschwebte, als er den schwingenden Zeiger des Vakuum-Indikators in den senkrecht auf- und absteigenden für den Dampfcylinder-Indikator umwandelte, weil er hierbei anderseits auf die an sich wertvolle, vergrösserte Anzeige des Indikator-Kolbenspiels ohne sonst ersichtlichen

[1]) Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers November 1883, Fig. 19 Tafel 64.

Grund wieder verzichtete; wenn dann auch ein anderer erst nachträglich den selbstthätigen Zeichenapparat hinzugefügt haben sollte, so war dies sicher nur die Ausführung eines sehr nahe gelegten Gedankens. —

Fragt man nach dem materiellen Gewinn, welchen Boulton und Watt aus dem bahnbrechenden Unternehmen zogen, das mit ungewöhnlicher Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit, mit Einsetzung der ganzen persönlichen Arbeitskraft von zwei Männern geleitet wurde, von denen der eine als einer der hervorragendsten Geschäftsleute, der andere als der grösste Ingenieur und Erfinder unbestrittenen Weltruf genoss, so war das Ergebnis für die ersten zwanzig Jahre durchaus unbefriedigend. Zehn Jahre hatten die wissenschaftlichen Vorarbeiten und Modellversuche in Anspruch genommen, und als endlich durch die Verbindung mit Boulton 1775 mit der praktischen Verwertung der Erfindung begonnen werden konnte, warf die Maschinenfabrik in Soho bis zum Jahre 1785 trotz der starken Beschäftigung keinen Gewinn ab, da alle Einnahmen für die Einrichtungen der eigenen Werkstätten, für Löhne, Material und neue Maschinen, sowie für die Darlehnszinsen verwandt werden mussten. Nur das Kapital Boultons, sein sonstiger Kredit und die Erträge aus der kunstgewerblichen Fabrik hielten das neue Unternehmen über Wasser, das bis dahin 47 000 £ verschlungen hatte.[1]) Bei dem Mangel eines Gewinnüberschusses aus der Maschinenfabrik bezog Watt von Boulton während dieser Zeit eine für die damaligen Verhältnisse freigebig bemessene Entschädigung in Form eines Gehaltes von 330 £ jährlich. Die erste Gewinnverteilung

[1]) Stuart: A descriptive history of the steam engine, London 1825, 3. Auflage S. 125.

fand erst aus den Jahren 1785 bis 1787 statt, erreichte dann aber freilich bald bedeutende Höhen.[1]) Es entsprach Boultons vornehmem Charakter, dass er nach der glücklichen Wendung des Unternehmens, über die Verpflichtungen seines Geschäftsvertrages hinausgehend, schliesslich mit Watt den Gewinn gleichmässig teilte.

Die Kupferbergwerke in Cornwall, welche besonders stark unter Grubenwässern litten und bei den verhältnismässig hohen Kohlenpreisen in der dortigen Gegend ohne die Wattschen Maschinen den Betrieb zum grossen Teil hätten ganz einstellen müssen, hatten sofort zahlreiche Aufträge erteilt. Bis 1784 waren dort alle Newcomenschen Maschinen durch Wattsche ersetzt und ausserdem noch neue Dampfmaschinen aufgestellt, aber die Unternehmer befanden sich schon durch die vorangegangenen schwierigen Betriebsverhältnisse vielfach in sehr ungünstigen Lagen, und wiederholte Geschäftskrisen bis 1784 machten sie zu unpünktlichen und widerwilligen Zahlern. Dazu kam, dass Hornblower, der, wie schon erwähnt, von Watt den Gedanken der Expansion entlehnt hatte, der Fabrik in Soho Konkurrenz zu machen versuchte und die Grubenbesitzer in Cornwall aufstachelte, sich von der Prämienzahlung an Boulton und Watt zu befreien. Er that Schritte, die Aufhebung der Wattschen Patentrechte durch einen Parlamentsbeschluss herbeizuführen.[2]) Geschäftliche Widerwärtigkeiten aller Art mit ernsten finanziellen Schwierigkeiten waren die Folge, wenn auch Hornblower seinen Endzweck nicht erreichte. Es bedurfte der ganzen That-

---

[1]) Smiles: Boulton und Watt, S. 288.

[2]) Briefe von Watt an Boulton Oktober 1780 und von Watt an Hamilton September 1782, Muirhead II, S. 122 u. 152.

kraft und Zuversicht Boultons, um Watt, der sich bei seinem Wesen gerade solchen Verhältnissen nicht gewachsen fühlte, aufzurichten und von dem Gedanken abzubringen, das ganze Unternehmen an den Nagel zu hängen. Unter dem Druck dieser ungünstigen äusseren Verhältnisse reiften die letzten Erfindungen und Verbesserungen der doppelt wirkenden Maschine mit Schwungradbetrieb heran. Als dann endlich mit der Einführung der Kondensationsmaschine für allgemeine Betriebszwecke die finanzielle Krisis überwunden war, nahmen die Patentverletzungen der Konkurrenzfirmen derart überhand, dass Boulton und Watt in einer Reihe von Prozessen, die sich durch Jahre hinzogen und erst am Ende des Jahrhunderts kurz vor dem Erlöschen der eigenen Patentrechte endgiltig zu gunsten der rechtmässigen Besitzer entschieden wurden, Schritt für Schritt ihre Rechte verteidigen mussten. Man gewinnt einen Einblick in die freilich auch sonst häufig besprochenen Verhältnisse der englischen Rechtspflege aus dem schleppenden Gange der Verhandlungen und aus Angaben über die daraus entstandenen Unkosten. Eine einzige Anwaltsrechnung in dem Patentprozess gegen Hornblower und Genossen belief sich für den Zeitraum von 4 Jahren auf 5 bis 6000 ℒ, also über 100 000 ℳ, und Muirhead schätzt die Gesamtprozesskosten auf nahezu den doppelten Betrag.[1])

Im Jahre 1800 schieden Boulton und Watt aus dem nach schweren Kämpfen endlich für die Zukunft gesicherten Unternehmen aus und überliessen ihren Söhnen die weitere Entwicklung. Erst mit diesem Zeitpunkt gelangte Watt zu der ersehnten wohlverdienten Ruhe eines nur

---

[1]) Muirhead I, Kap. XI.

geistigen Interessen gewidmeten Lebens, dessen Genuss ihm in einem glücklichen, fast ungetrübten Greisenalter noch volle 19 Jahre vergönnt war.

Im Vergleich zu der Riesenleistung Watts für die Entwicklung der Dampfmaschine tritt das, was er den Ingenieuren unseres Jahrhunderts hier zu ergänzen und zu vervollkommnen übrig liess, verhältnismässig in den Hintergrund, und nur eins ist nicht ohne weiteres verständlich, weshalb er, der mehr als irgend ein anderer die thermodynamischen Vorgänge in der Dampfmaschine mit dem ausgesprochenen Ziel durchforscht hatte, die grösste wirtschaftliche Ausnutzung des Dampfes zu erreichen, bei der Verwendung ganz niedriger Spannungen stehen blieb und den Vorteil der Expansionsarbeit weit weniger zur Geltung brachte, als der selbstentwickelten, klaren Begründung dieses Arbeitsgewinnes entsprach.

Schon Ende 1765 teilte er Roebuck mit, dass nach seinen Versuchen höhere Betriebsspannungen vorteilhafter seien als niedrige, weil mit der Spannung die sensible Dampfwärme wachse, die latente dagegen verhältnismässig abnehme und der heissere Dampf viel expansionsfähiger sei.[1]) In der Patentspecifikation vom Jahre 1782 betonte er ferner ausdrücklich, wie bereits weiter oben angeführt, dass die Expansion bei $^1/_4$ Füllung am vorteilhaftesten sei. Wenn nun trotzdem die von ihm angewandten Betriebsspannungen im Kessel den Atmosphärendruck nur wenig überschritten, und die mittlere Spannung im Cylinder sogar noch etwas unter dem Atmosphärendruck blieb, weil der

---

[1]) Watt an Roebuck 9. September und 4. Dezember 1765, Muirhead I, S. 5 u. 12.

eintretende Dampf teilweise gedrosselt wurde, und Watt unter solchen Verhältnissen die Füllungen mindestens auf $^1/_2$ bis $^2/_3$ steigerte, ja in den Schwungradmaschinen auf die Expansion sogar ganz verzichtete, so stehen diese Thatsachen zum teil in einer gewissen Abhängigkeit von einander; wir müssen daher zunächst den ersten Punkt etwas näher untersuchen. Hierfür kommt in betracht, dass Watt für die Einführung seiner Verbesserungen in erster Linie den Umbau vorhandener Newcomenscher Maschinen unter Verwendung aller brauchbaren Teile in Aussicht nahm und sich somit auch an die gegebenen niedrigen Dampfspannungen der vorhandenen Kesselanlagen hielt. In der That wurden solche Umbauten anfangs mehrfach ausgeführt.[1]) Da diese Maschinen durch ihre erhebliche Kohlenersparnis die Abnehmer vollkommen befriedigten, und Boulton & Watt den konservativen Geschäftsgrundsatz befolgten, Bewährtes erst nach sicherer Erprobung geplanter Neuerungen, mit allen dabei in betracht kommenden Ausführungs- und Betriebsrücksichten zu verlassen, so hielt die Scheu vor Misserfolgen, durch unverständige Behandlung seitens ungeschulter Maschinenwärter, die Einführung mancher Verbesserungen zurück. Mit bezug auf die Expansion schreibt Watt unter anderem 1781 an Samuel Ewer:[2]) „Obgleich die Leistung des Dampfes hierdurch um 50 pCt — theoretisch um 100 pCt — gesteigert wird, lässt sich dies doch nicht erreichen, ohne die Maschine verwickelter einzurichten, als wir wünschen, und Einfachheit ist einer der wesentlichsten Punkte im Maschinenbau. Wir kennen

---

[1]) Vergl. den Wattschen Originalaufsatz: A plain story, Muirhead I, Kap. V S. XC oben, sowie Farey S. 321 und 383.

[2]) Smiles: Boulton & Watt, 1878, S. 240.

noch andere Hilfsmittel, welche die Leistung in geringerem Masse, etwa um $^1/_4$ bis $^1/_6$, steigern würden, aber sie sind alle mit Unzuträglichkeiten verknüpft, welche uns ihre Anwendung verbieten, bis die ungebildeten und starrköpfigen Leute, welche mit der Wartung der Maschinen betraut sind, verständiger und mit den Maschinen besser vertraut werden.“ In ähnlicher Weise spricht er sich bei anderer Gelegenheit über den Grund aus, der ihn an der schnellen Einführung der doppeltwirkenden Maschinen gehindert habe, weil er schon bei der einfachen Maschine so vielen Schwierigkeiten begegnet sei, andere in ihrer Bedienung und hinsichtlich ihrer Konstruktion zu unterweisen, sowie die bestehenden Vorurteile zu überwinden, dass er die Patente vom Jahre 1782 zunächst nur genommen habe, um sich gegen die Nachahmung und Ausplünderung zu schützen.[1]) Es kam vor, dass die Maschinenwärter die Expansionseinstellung der Steuerung nachträglich beseitigten, worauf dann Klagen über übermässigen Dampfverbrauch und unzureichende Kesselanlagen einliefen, und in einem anderen Fall berichtet Watt, dass er die Regelung der Steuerung bei einer stossend arbeitenden Maschine habe aufgeben müssen, weil die Leute in dem hierbei erzielten ruhigen Gange eine Verminderung der Kraftleistung erblickten. Cowper erwähnt, dass einer seiner Bekannten bei einer Wattschen Maschine im Betriebe den Kessel mit abgenommenem Mannlochdeckel angetroffen habe, wobei der Heizer versicherte, sie arbeite so ebenso gut.[2])

---

[1]) Farey S. 428.

[2]) Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, November 1883 S. 624.

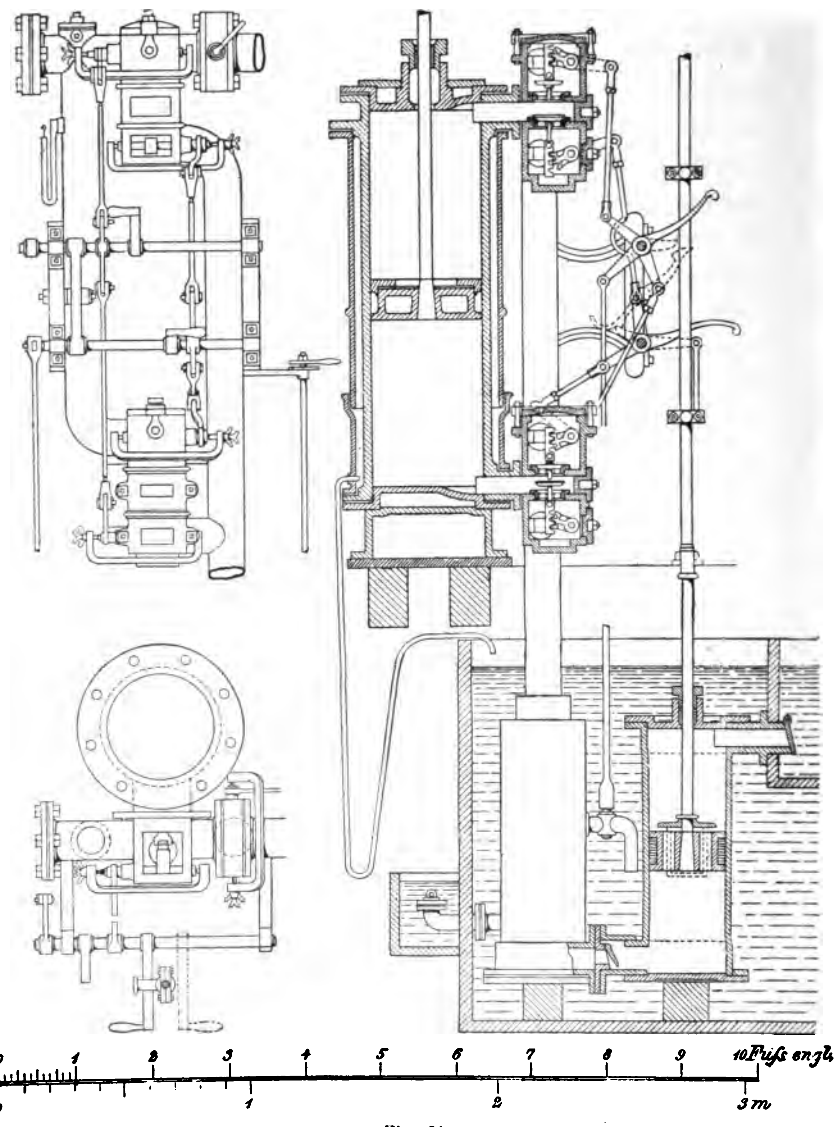


Fig. 24.

Bei den einfach wirkenden Pumpmaschinen ohne Kurbelmechanismus lag ein zwingender Grund vor, sowohl von der Expansion, wie von der Kompression des Dampfes Gebrauch zu machen, um die Beschleunigung des Kolbenlaufes zu verhindern und den Hub sicher und stossfrei zu begrenzen, weil sonst der Balancier leicht gegen die federnden Holzwiderlager anprallte. Beide Hilfsmittel wurden daher von Watt angewendet; aber bei den verhältnismässig grossen Füllungen, die der niedrige Dampfdruck für die Gesamtleistung der Maschine erforderte, blieb der Vorteil der Expansion, angesichts des wenig verminderten Dampfverbrauches, im wesentlichen auf die Gleichförmigkeit der Kolbengeschwindigkeit in der mittleren Bahn beschränkt.

Die an sich verwickeltere Bauart der doppeltwirkenden Betriebsmaschinen mit Planetenräderkurbel und Schwungrad drängte unter den oben angeführten Bedenken Watts die möglichste Einfachheit für die Anordnung der vermehrten Steuerorgane in den Vordergrund; anderseits begrenzte die zwangläufige Verbindung des Kolbens mit dem Kurbelrädermechanismus den Hub und verlangsamte die Kolbengeschwindigkeit an den Hubgrenzen selbstthätig für die damaligen Ansprüche auch ohne reichliche Kompression genügend stossfrei, weil man sich mit sehr kleinen Umlaufzahlen begnügte. Diese Gesichtspunkte führten dazu, die Ein- und Auslassventile paarweise zu verbinden, sodass stets gleichzeitig mit dem Einlassventil für die eine Kolbenseite das Auslassventil für die Gegenseite geöffnet oder geschlossen wurde, wie das aus dem Steuerwerk, Fig. 24, S. 88 ersichtlich ist; diese Figur giebt den Cylinder und die Steuerventile der bereits in Fig. 18 und 19

auf S. 68 dargestellten Maschine, in grösserem Massstab gezeichnet, wieder. Die Einfachheit schien um so mehr geboten, als sämtliche Steuerhebel noch mit Handgriffen versehen waren, welche der Wärter in Ausnahmefällen nach Bedarf zur Regelung des Maschinenganges bediente, falls unerwartet grobe Störungen des Beharrungszustandes eintraten.

Dass Watt im übrigen der sorgfältigen Regelung der Steuerventile für den Gang und die Leistung seiner Maschinen ganz besondere Aufmerksamkeit schenkte und auch darin vielen seiner Nachfolger überlegen war, bezeugt Farey ausdrücklich. Es ist wichtig, darauf aufmerksam zu machen, wie unter anderem schon damals auch die Notwendigkeit rechtzeitiger Vorausströmung klar erkannt war, während man bei einer grossen Zahl viel später gebauter Maschinen diesen Gesichtspunkt für die Konstruktion nicht genügend gewürdigt findet.[1]

Nicht durch die Grenzen seiner Erfahrung und Fähigkeiten wurde Watt veranlasst, in seinen Ausführungen vor dem sicher erkannten Endziel halt zu machen, sondern sicherlich nur durch reiflich überlegte Rücksichten auf die zur Zeit gegebenen äusseren Verhältnisse. Er gab der Industrie eine Waffe von bisher unerreichter Vollkommenheit in die Hand, um siegreich in der Unterwerfung der Naturkräfte vorwärts zu schreiten und sie sich dienstbar zu machen, aber bei der Konstruktion und Handhabung dieser Waffe hatte er, wie ein Feldherr, mit dem Menschenmaterial zu rechnen, das ihm zu Verfügung stand. Es bedurfte der Heranbildung späterer Geschlechter, um das vollkommen auszugestalten und zu verwerten, was er

[1]) Vergl. die ausführliche Auseinandersetzung in Farey S. 467 u. f. und besonders auch die Fussnote ebenda zu Seite 469.

selbst als Ergebnis seiner Forschungen und Entwürfe der Nachwelt hinterliess.

Wie weit die Vermutung berechtigt ist, dass bei dem Verzicht auf höher gespannte Dämpfe und bei dem schroffen Vorgehen, andere an ihrer Benutzung zu hindern, die Wahrung der eigenen Geschäftsinteressen die persönliche wissenschaftliche Erkenntnis in den Hintergrund gedrängt hat, lässt sich schwer entscheiden. Es steht fest, dass Boulton und Watt im Parlament ein Verbot gegen die Verwendung hochgespannter Dämpfe wegen der damit verbundenen Lebensgefahren durchzusetzen suchten, als Trevithick zu dem Bau solcher Maschinen überging.[1]) Den Ausgangspunkt der Zwistigkeit zwischen Watt und Trevithick bildete ein vorangegangener Patentprozess von Boulton und Watt gegen Bull wegen unbefugter Benutzung des Kondensators und die darauf folgende geschäftliche Verbindung Trevithicks mit Bull. Der unmittelbare Anhalt, beim Parlament vorstellig zu werden, ergab sich aus dem allerdings tollkühnen Vorgehen der Gegner, in gusseisernen, aus einem Stück gegossenen Kesseln von 5′ Länge und 3′ 6″ Dmr. die Dampfspannung bis auf 120 lbs zu treiben. Nach den eigenen Patenten hätte Watt nichts im Wege gestanden, selbst den Bau von Hochdruckmaschinen zu beginnen. Er hatte ja schon in seinem Grundpatent vom Jahre 1769 darauf hingewiesen, dass durch höher gespannte Dämpfe bei Wassermangel ein Verzicht auf den Kondensator möglich sei, und auch den Wert weitgehender Expansion für solche Fälle, wie schon früher angeführt,

---

[1]) Encyclopaedia Britannica: Artikel Watt, sowie Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, November 1883 S. 604, 614 und 624.

seinem Freunde Small ebenfalls 1769 auseinandergesetzt; aber gerade nach dieser Richtung war, wie die jahrelangen Patentstreitigkeiten klar erwiesen, der Patentschutz sehr unsicher und der Kondensator der einzige felsenfeste Stützpunkt des Wattschen Monopols. So wäre es denn menschlich erklärlich, wenn er sich im Verein mit Boulton dagegen sträubte, von aussen in seine feste Stellung Bresche legen zu lassen, oder gar selbst mit dem Aufwand neuer grosser materieller Opfer für das Lehrgeld, welches jede durchgreifende Aenderung kostete, das Beispiel zu geben, wie das geschehen könne. Hiergegen sprach das eigene Geschäftsinteresse, nachdem die Firma sich durch ihre Ausführungen, von denen einzelne fast ein Jahrhundert betriebsfähig geblieben sind, ein so unbedingtes Vertrauen erworben hatte, dass Woolf und andere jahrelang vergeblich gegen die Ueberzeugung des Publikums ankämpften, die Wattsche Maschine sei überhaupt nicht mehr verbesserungsfähig.[1])

Ich habe bisher, um den Zusammenhang der Darstellung nicht zu unterbrechen, im wesentlichen nur die eine Seite der Wattschen Thätigkeit, seine Arbeiten auf dem Gebiete der Dampfmaschinen, in den durch den Zweck dieser Schrift gebotenen Grenzen klarzulegen versucht und hierbei darauf verzichtet, seine Entwürfe für direkt rotirende Dampfmaschinen näher zu verfolgen oder auf nur gelegentlich hingeworfene Gedanken, wie die Ueberhitzung des Dampfes[2]) oder die Verwendung der

---

[1]) Farey S. 654

[2]) Erwähnt in Briefen an Boulton. Vergl. Smiles: Boulton und Watt, S. 246.

Schraube für Dampfschiffe,[1]) einzugehen, weil es erst einer späteren Zeit vorbehalten blieb, diese Anregungen weiter auszubilden und durch selbständige, von Watt unabhängige Gedanken lebensfähig zu gestalten. Es würden aber in den Umrissen des Wattschen Bildes wesentliche Linienzüge fehlen, wollte ich nicht den Versuch machen, wenigstens zum Schluss noch kurz anzudeuten, was sonst diesen gewaltigen Geist bewegte, der alles mit schöpferischer Kraft umgestaltete, was ihm in technischer Beziehung verbesserungsbedürftig in seinem bewegten Leben entgegentrat.

Watts Vermessungsarbeiten für die schottischen Kanäle gaben ihm 1781 Veranlassung, die Nivellirinstrumente nach verschiedenen Richtungen zu verbessern und die Teilmaschinen zu vervollkommnen.[2]) Als der Geschäftsbetrieb 1778 in Soho solche Ausdehnung gewann, dass es wünschenswert erschien, von allen Briefen und Maschinenzeichnungen zuverlässige Duplikate zu haben, erfand er die Kopirpresse, welche 1780 in den beiden durch Fig. 25 und 26 und durch Fig. 27 S. 94 wiedergegebenen Ausführungsformen patentirt wurde. Watt selbst bevorzugte die Ausführung mit Druckwalzen, während jetzt die Spindelpresse überall Eingang gefunden hat, nachdem ihre Anwendung auf das Kopiren von Briefen beschränkt, sie hier aber eine unentbehrliche Hilfsmaschine für alle Bureaux der Welt geworden ist. Mit dem Verzicht auf die Druckwalzen geriet die Verwendbarkeit der Kopirpresse für grosse Zeich-

---

[1]) Watt an Small 30. September 1770 Muirhead II S. 6.

[2]) Muirhead I, Kap. VIII: Micrometer for measuring distances, und Briefwechsel zwischen Watt und Dr. Small 1772, ebenda II S. 35 u. f.

nungen in Vergessenheit, und das in Soho geübte Verfahren, alle Konstruktionszeichnungen mechanisch zu vervielfältigen, fand anderwärts keine Verbreitung, bis lange

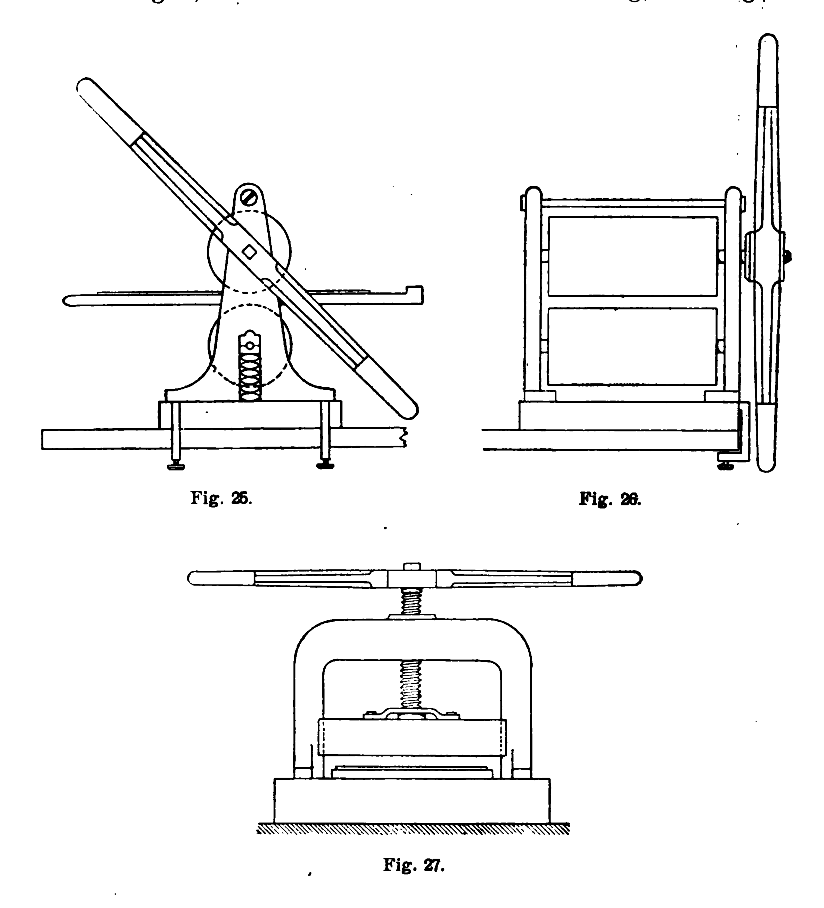


Fig. 25. Fig. 26.

Fig. 27.

nachher das Bedürfnis allgemeiner auftauchte und unter dem Einfluss der photographischen Erfahrungen sich Mittel und Wege boten, es durch Lichtpausen in anderer Weise zu befriedigen. Bei den zahlreichen und zeitraubenden

Versuchen zum Herstellen einer geeigneten abdruckfähigen Tinte wirkte der Chemiker Keir mit.[1])

Auf grund jahrelanger Erfahrungen und sorgfältiger Erwägung aller Umstände, welche die Beanspruchung der einzelnen Maschinenteile beeinflussen, stellte Watt in Verbindung mit Southern, dem vor allem die wissenschaftlichen Arbeiten in Soho mit übertragen waren, während Murdock die Betriebsleitung führte, Formeln zur Berechnung der Abmessungen für die verschiedenen Maschinengrössen auf und verbesserte die gewöhnlichen Rechenschieber durch logarithmische Skalen. Diese Rechenschieber wurden mit grösster Sorgfalt ausgeführt und waren in dem Sohoer Werke allgemein in Gebrauch. Sie hiessen in England lange Zeit kurzweg Soho rules.[2]) Farey erwähnt, dass sich ihre Benutzung weiterhin durch die Ingenieure einbürgerte, welche im Laufe der Jahre in Soho ausgebildet wurden.

Zwischen vorwiegend praktischen Aufgaben war Watt dann wieder mit rein wissenschaftlichen beschäftigt. Hier gebührt ihm unter anderen die Priorität der Erkenntnis der Zusammensetzung des Wassers, die erst bald darauf Cavendish und Lavoisier durch ihre Untersuchungen ergänzten.[3])

Manche Anregung zu diesen Arbeiten entsprang dem geistigen Verkehr, den die sogenannte Lunar Society in

---

[1]) Muirhead III, S. 27 und folgende mit Fussnoten. Watt an Black, Juli 1778, ebenda II, S. 109. Das Rezept für die benutzte Kopirtinte findet sich in Farey, S. 646 Fussnote.

[2]) Farey, S. 531 u. f. enthält eine ausführliche Beschreibung des Wattschen Rechenschiebers mit Anwendungsbeispielen und eine weitere Verbesserung eigener Anordnung.

[3]) Arago: Oeuvres complétes, Paris 1854 I S. 450 u. f., u. 495 u. f.

Birmingham, eine geschlossene Gesellschaft, unter sich pflegte, um sich im freundschaftlichen Gedankenaustausch über Litteratur, Kunst und Wissenschaft zu unterhalten. Der Name dieser Vereinigung rührte von dem Zeitpunkt der Zusammenkünfte am jeweiligen Vollmondsabend her. Ausser Watt und Boulton gehörten Small, Wedgwood, der Arzt, Philosoph und Dichter Dr. Darwin, die Chemiker Keir und Priestley, sowie andere namhafte Persönlichkeiten dem Kreise an, in dessen Mitte wir Männer wie Smeaton, De Luc, William Herschel u. a. m. gelegentlich als Gäste erwähnt finden.

Das Bestreben, in den Kesselfeuerungen eine möglichst vollkommene und rauchfreie Verbrennung zu erzielen, führte Watt auf das Studium der Argandschen Arbeiten, und aus dem Briefwechsel, welcher sich infolgedessen zwischen den beiden Gelehrten entspann, ergaben sich 1787 verschiedene Vorschläge für verbesserte Lampen mit ständiger Oelzufuhr durch ein kleines Pumpwerk mit Federbelastung und Aufziehwerk, ein Gedanke, der erst vor etwa vier Jahrzehnten in Deutschland für die sogenannten Moderateurlampen verwertet wurde und Eingang fand, bis ihn die Petroleumbeleuchtung als entbehrlich wieder verdrängte.[1]) Im folgenden Jahre finden wir Watt damit beschäftigt, ein möglichst einfaches Verfahren zur Bestimmung der specifischen Gewichte von Flüssigkeiten aufzufinden, und der Erfolg war ein noch heute benutztes sinnreiches Instrument, ein U-förmig gebogenes Glasrohr mit einem im Scheitel angeschmolzenen, gemeinsamen Anschlussrohr für beide Schenkel, durch welches die zu

[1]) Watt an Argand, 8. August 1787, Muirhead II, S. 219.

vergleichenden Flüssigkeiten aus untergestellten Schalen gleichzeitig in die Höhe gesaugt werden und durch den gegenseitigen Stand sofort das Verhältnis ihrer Gewichte angeben.[1]) Durch Berthollet lernte er die bleichende Wirkung des Chlors kennen und veranlasste auf grund eigener Versuche seinen Schwiegervater Macgregor in Glasgow, Versuche damit im grossen anzustellen, die nach kurzer Zeit zur allgemeinen Anwendung dieses Verfahrens in der Textilindustrie führten.[2]) Auch einen anderen wichtigen Fortschritt verdankt ihm die Textilindustrie durch Einführung der Walzentrockenmaschinen mit Dampfheizung, deren Konstruktion er 1781 für seinen Schwiegervater entwarf.[3]) In der Musse des Greisenalters beschäftigte er sich mit der Konstruktion und Verbesserung von Maschinen zum Kopiren von Medaillen und Büsten in Metall, Holz, Elfenbein und Stein und brachte es auch hierin zu gebrauchsfähigen Ausführungen.[4]) Den Anstoss zu diesen letzten Arbeiten seiner Erfindungsthätigkeit gab eine Maschine zum Kopiren von Münzen, die er in Paris kennen gelernt hatte.

Von ganz besonderem Interesse ist schliesslich die anscheinend vollkommen in Vergessenheit geratene Thatsache, dass Watt auch den ersten Anstoss zur Einführung

---

[1]) Watt an Black, 8. Juni 1788, Muirhead II, S. 223.

[2]) Watt an Boulton, 30. Dezember 1787, Smiles: Boulton und Watt, S. 306.

[3]) Watt an Macgregor, 4. Februar 1781, und Watt an Brewster, 7. Juni 1814, Muirhead II, S. 127 und 356.

[4]) Smiles: Boulton und Watt, S. 402. Photographische Aufnahmen dieser Maschinen und der dabei benutzten Fräser nebst einigen Arbeitsproben siehe Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, November 1883 Taf. 82 bis 86.

unseres heutigen einheitlichen Mass- und Gewichtssystems gegeben hat. Die lästigen Umrechnungen bei seinen vielfachen wissenschaftlichen Arbeiten, zu denen er die Forschungsergebnisse von deutschen und französischen Gelehrten zum Vergleich heranzog, legten ihm die Einführung eines internationalen Systems nahe, um zunächst wenigstens für wissenschaftliche Zwecke zeitraubende mechanische Arbeiten zu vereinfachen, dabei gleichzeitig das neue System planmässig aufzubauen und für die Anwendung möglichst bequem zu gestalten. Sein erster Brief an Kirwan über diese Angelegenheit vom November 1783[1]) entwickelt in klarer Schärfe den Gedanken, von der Längeneinheit auszugehen, die Kubikeinheit, mit Wasser gefüllt, als Gewichtseinheit anzunehmen, diese nach dem Decimalsystem von 1 bis 1 : 10 000 abzustufen, alle Flüssigkeiten zu wägen und nicht zu messen und die Gewichte der Gase auf die Kubikeinheit Wasser zu beziehen, um specifische und absolute Gewichte durch die gleiche Zahl auszudrücken. Als Längeneinheit schlug er, wie schon Huyghens 1673, das Sekundenpendel, den Zeitfuss, oder eine feste Beziehung zu dieser Grösse vor.

Da haben wir das Mass- und Gewichtssystem, wie es 1790 von der französischen Nationalversammlung zu Paris beschlossen wurde, und das bei der schliesslichen Einführung im Jahre 1800 auf grund des Gutachtens der französischen Akademie der Wissenschaften nur die eine Aenderung erfuhr, dass statt der von der geographischen Lage des Bestimmungsortes abhängigen Länge des Sekundenpendels das Meter als Längeneinheit angenommen

---

[1]) Watt an Kirwan, 14. November 1783, Muirhead II, S. 179.

wurde, in der Absicht, ein unmittelbar in der Natur wieder aufzufindendes Längenmass zu grunde zu legen. Dass infolge eines Messungsfehlers die beabsichtigte Verbesserung hinfällig wurde, ist bekannt.

Der Weg, auf dem diese Vorschläge nach Frankreich gelangten, lässt sich aus dem Briefwechsel jener Zeit verfolgen. Schon am 23. November 1783 teilt Watt dem in England lebenden Franzosen De Luc mit, dass Priestley seinen Vorschlägen zugestimmt habe, und dass er ihn sehr verpflichten würde, wenn er sich mit La Place über die Angelegenheit in Verbindung setzen wollte, um möglichste Einmütigkeit zu erzielen.[1] Wenige Jahre später, 1786, hatte Watt Gelegenheit, während eines Aufenthaltes in Paris, wohin er mit Boulton zu einer Beratung über die Wasserwerke in Marly berufen war, mit den bekannten französischen Gelehrten der damaligen Zeit in persönliche Berührung zu treten, und Briefe aus späterer Zeit beweisen, dass er auch mit Monge in Verbindung stand, der ebenso, wie La Place, der Begutachtungskommission der Akademie der Wissenschaften angehörte. Während sich das konservative England in weiteren Kreisen dieser Neuerung gegenüber ablehnend verhielt, dehnte Frankreich den Gebrauch des einheitlichen Gewichts- und Masssystems mit der Decimaleinteilung auf alle bürgerlichen Verkehrskreise aus.

In der ruhigen Selbstbeschäftigung auf seinem Landsitze in Handsworth bewahrte sich Watt bis zu den letzten Lebenstagen die volle geistige Frische.

---

[1]) Watt an De Luc 23. November 1783, Muirhead II, S. 182.

Walter Scott schildert die Persönlichkeit des 82jährigen mit folgenden Worten: „Dieser gewaltige Beherrscher der Elemente, der Zeit und Raum verkürzt, dieser Zauberer, dessen Maschinen einen Wechsel in der Welt hervorgerufen, von dem wir, bei seiner ganz aussergewöhnlichen Wirkung, allem Anschein nach erst den Anfang selbst erleben, dieser Mann war nicht nur ein hervorragend gründlicher Gelehrter mit der fruchtbarsten Kombinationsgabe für die Verwertung von Kräften und für die Benutzung von Zahlenwerten, die sich auf praktische Anwendungen beziehen, sondern auch einer der besten und liebenswürdigsten Menschen. Der lebhafte, freundliche und wohlwollende alte Herr schenkte jeder an ihn gerichteten Frage seine volle Aufmerksamkeit und stand mit seiner Auskunft jedem zur Verfügung.“ Wenn man dann weiter die Bemerkung von Francis Jeffrey aus derselben Zeit liest: „Es schien, als wenn jeder Gesprächsgegenstand, der zufällig auftauchte, gerade seinem Studiengebiet entnommen gewesen wäre“, so decken sich diese Schilderungen aus den letzten Lebensjahren des grossen Mannes vollkommen mit den früher angeführten Robisons von dem jugendlichen Watt. Sonstigen Aufzeichnungen entnehmen wir, dass der alternde Forscher in Gesellschaft, so lange er nicht unmittelbar angeredet wurde, schweigsam, für sich nachdenkend, mit nach vorn gebeugtem Kopf, so wie ihn das Titelbild wiedergiebt, oder das Haupt in die Hand gestützt, dazusitzen pflegte; es dauerte jedoch nie lange, bis er in den Kreis der allgemeinen Unterhaltung gezogen wurde und sich dazu nicht nur durch den Gesprächsstoff der Männer, sondern auch durch Damen und durch das Geplauder der Kinder bewegen liess, die er alle

mit gleicher Liebenswürdigkeit behandelte. Ohne den Tonfall seiner tiefen, aber leisen Stimme wesentlich zu ändern und zu wechseln, mischte er in seine ernsten, mit harmonischer Klarheit durchgeführten Unterhaltungen einen gewissen heiteren Zug mit trockenem Humor.

Die zahlreichen Diebstähle, welchen sein geistiges Eigentum ausgesetzt war, erbitterten ihn wohl vorübergehend in Zeiten, wo noch die ganze Zukunft seines Unternehmens von der Wahrung dieser Rechte abhing, aber später begegnete er allen Bestrebungen, seinen Ruhm zu verkleinern, mit stoischem Gleichmut, und die Art, wie er zwar bestimmt, aber doch in vollster Bescheidenheit, in seinen Beiträgen zu der Brewster'schen Ausgabe von Robisons Mechanical Philosophy noch wenige Jahre vor seinem Tode seine Erfinderrechte festlegte und Irrtümer anderer berichtigte, erinnert lebhaft an ähnliche Stellen in den Lebenserinnerungen von Werner Siemens.

Als am 19. August 1819 James Watt die Augen für immer schloss, schied eine kaum je wieder erreichte Schaffenskraft und Erfindungsgabe aus der Welt. Staunend stehen wir vor der schöpferischen Fruchtbarkeit seiner Gedanken. Keine seiner Erfindungen entstammt einem blossen Zufall, sondern alle sind die Frucht tief eindringender Arbeit und selbständiger Urteilskraft. Er hat kein Arbeitsfeld betreten, ohne dauernde Spuren seines durchaus selbständigen Wesens und bleibende Verbesserungen zu hinterlassen, und werfen wir noch einmal einen Blick auf sein Hauptlebenswerk, auf die Dampfmaschine, so finden wir, dass er diese nicht nur in allen Einzelheiten

ausbildete, sondern auch, von der klaren Erkenntnis erfüllt, dass der Fortschritt im Maschinenbau und die Steigerung des wirthschaftlichen Wertes der Betriebsmotoren in erster Linie von fortlaufenden Untersuchungs- und Vergleichsmessungen abhängen, mit allen hierzu erforderlichen Messapparaten ausrüstete.

Das Manometer und das Wasserstandsglas für den Kessel, das Vakuummeter für den Kondensator, der Indikator zur Prüfung der Vorgänge im Arbeitscylinder und der selbstthätige Hubzähler rühren von ihm her.

Mit dem Ausspruch: „Eine gut regulirte Expansionsmaschine ist das Vollkommenste, was wir zu erreichen vermögen“,[1]) beurteilte er den Entwicklungsgang der Dampfmaschine auf ein Jahrhundert hinaus richtig und lieferte alle wesentlichen Grundlagen hierzu; denn auch die selbstthätig veränderliche Füllung mit der Präzisionssteuerung sind nur weitere Schritte auf einer bereits gewiesenen Bahn, und die mehrstufige Expansion ist, wenn auch selbständig entwickelt, wissenschaftlich betrachtet nur die folgerichtige Fortsetzung des Wattschen Grundgedankens, den Kondensator von dem Dampfcylinder zu trennen, um die Temperaturabfälle und damit den Wärmeaustausch innerhalb eines und desselben Gefässes zu vermindern.

Je grösser der Erfolg, um so leichter verwischen sich für spätere Geschlechter die mühsam durchwanderten Wege, welche zu ihm geführt haben, und unter dem Eindruck der vollendeten Thatsache erscheinen nicht selten Werkzeuge und Hilfsmittel als nebensächlich, die in Wahrheit

---

[1]) Smiles: Boulton und Watt, London 1878, S. 241.

nicht entbehrt werden können, wenn man von den Errungenschaften nichts einbüssen will. Schon Farey klagt im Jahre 1827, dass die Vernachlässigung des Indikatorversuches in England gewisse Rückschritte im Bau der Dampfmaschine zur Folge habe, weil die Prüfung des Einflusses veränderter Konstruktionsverhältnisse unterbleibe.[1]) Auch wir Deutsche können uns nicht von dem Vorwurf freisprechen, dass dieses unentbehrliche Instrument, namentlich an unseren Bildungsstätten, lange Zeit gar nicht oder doch nur ganz stiefmütterlich behandelt wurde und dadurch in der Praxis sehr langsam Eingang fand.

In Deutschland ging der Entwicklung der Industrie die Blütezeit der abstrakten Philosophie voraus. Sie galt als befruchtende Quelle alles geistigen Fortschritts. Unter der Nachwirkung dieser Anschauung lenkten auch die jungen technischen Bildungsanstalten, in dem Streben, das Höchste zu leisten, in diese Richtung ein und glaubten, mit der mathematischen Spekulation den Schlüssel zur Lösung aller technischen Aufgaben in der Hand zu halten. Die einseitige Bevorzugung dieser Wissenschaft, das Studium der Steuerungsgeometrie, sowie die rein analytische und viel zu abstrakte Behandlung der Wärmetheorie drängten die experimentelle Durchforschung der thatsächlichen Vorgänge in der Dampfmaschine ungebührlich in den Hintergrund. Es ist bezeichnend für diese Richtung, dass wir das erste Buch über den Indikator dem leitenden Ingenieur einer Magdeburger Maschinenfabrik, dem späteren Direktor einer Zuckerfabrik in Posen, Völckers, verdanken, und dass ferner auch die sonstige Wiederaufnahme des

---

[1]) Farey, S. 484 und 486 Fussnoten.

Forschungsversuchs im Wattschen Geiste und mit den von ihm selbst hierzu gebotenen Hilfsmitteln zuerst in den Kreisen der ausübenden Ingenieure zum Durchbruch kam. Der Aufschwung des Dampfmaschinenbaues in den letzten Jahrzehnten wurzelt in diesem Vorgehen der Praxis. Hier, wie bei der Geschichte des Dampfmantels, haben wir lehrreiche Beispiele vor Augen, wie leicht kostbare Schätze nur vereinzelt benutzt werden, wenn man ihren Wert nicht schon in den allgemeinen Fachstudien durch eigene Anwendung kennen lernt.

Was im Vorstehenden an hand geschichtlicher Quellen für die Wattschen Arbeiten und für die unmittelbar damit im Zusammenhange stehenden Konstruktionen und Anschauungen der Folgezeit nachgewiesen ist, gelangt auch in der 1893 von unserem Vereine deutscher Ingenieure gestellten und 1895 erneuerten Preisaufgabe in ähnlicher Weise zum Ausdruck,[1] welche eine kritische Darstellung der Entwicklung des Dampfmaschinenbaues während der letzten 50 Jahre in den hauptsächlichsten Industriestaaten verlangt und dabei für die Lösung vorschreibt: „Sie soll nach Möglichkeit ermitteln, welchen Anteil Wissenschaft wie Schule, und welchen Anteil die Industrie selbst an der Entwicklung des Dampfmaschinenbaues hat, und so eine möglichst klare Erkenntnis darüber schaffen, welcher Anstrengungen, wie vieler Arbeit seitens der mitten in der Industrie stehenden Männer es bedurfte, um den heutigen Standpunkt zu erreichen. Hierbei sind Erscheinungen zu behandeln, wie z. B. die, dass in Deutschland der Wert des Dampfmantels, überhaupt die Bedeutung des Wärme-

---

[1]) Z. d. V. d. Ing. 1893 S. 26 und Z. d. V. d. Ing. 1895 S. 1363.

austausches zwischen Dampf und Cylindermassen, sowohl in der wissenschaftlichen Litteratur, als auch in der Industrie, eine lange Reihe von Jahren ungenügend, gar nicht oder irrtümlich gewürdigt wurde, während die Lehren der mechanischen Wärmetheorie hier in einer Ausdehnung Behandlung erfuhren, wie sonst nirgends. Es wird klar zu stellen sein, dass Wissenschaft und Schule nicht selten weit hinter der Praxis zurückgeblieben sind, dass aber auch die letztere, abgesehen von anderem, manche befruchtende Anregung durch die wissenschaftliche Forschung erhalten hat."

Noch harrt diese schwierige Aufgabe ihrer Lösung, aber vielleicht giebt die vorliegende Studie einen weiteren Anstoss zur Beschäftigung mit dem Thema und zeigt, wie fruchtbringend eine solche, bis auf die Gegenwart umfassend durchgeführte Arbeit für die Allgemeinheit zu werden verspricht, wenn sie den Schlusssatz des seinerzeit aufgestellten Programms erfüllt, der hier auch noch einen berechtigten Platz findet:

„Die Arbeit wird, indem sie die Irrgänge kennzeichnet, welche Wissenschaft, Schule und Praxis gemacht haben, einerseits den Zweck im Auge behalten müssen, davor zu bewahren, dass Verfehltes wieder aufgenommen und damit bereits entrichtetes Lehrgeld nochmals bezahlt wird, andererseits aber darauf hinleiten, dass bei Wiederaufnahme alter Dinge der richtige Weg eingeschlagen werde."

Nichts kann ferner die Berechtigung der Bestrebungen unseres Vereines, dem technisch - wissenschaftlichen Versuch durch die neuen Ingenieurlaboratorien an unseren Hochschulen für die Ausbildung der Ingenieure eine be-

fruchtende Pflegstätte zu sichern, deutlicher veranschaulichen, als der geschichtliche Rückblick auf die Entwicklung des Maschinenbaues unter dem Einfluss des Prüfungsversuches und auf die Zeiten, in denen die experimentelle Untersuchung vernachlässigt wurde oder ganz unterblieb.

Bei diesem Rückblick verneigen wir uns in dankbarer und bewundernder Verehrung vor James Watt, unserem grössten Meister und unserem bedeutendsten Lehrer in der Kunst und Wissenschaft des Maschinenbaues.

